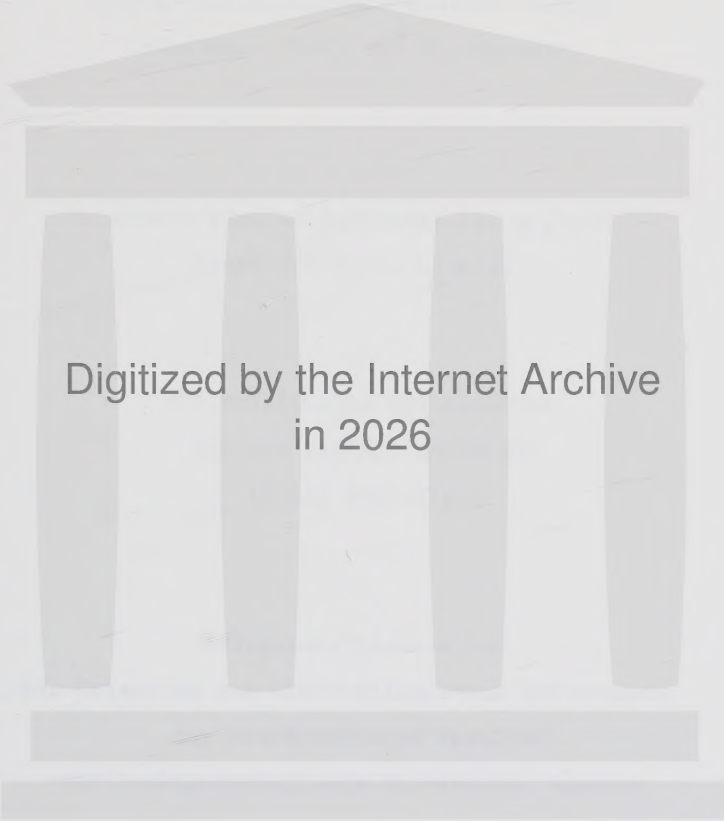


*Zur Morphologie
des Nephrons
und des
Sammelrohrsystems
in der Hundeniere*

Wulf Fischer

Diss.
H. Fischer
1906





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554624_0068

Aus dem
Institut für Tieranatomie
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl: Prof. Dr. F. Sinowatz

Arbeit angefertigt unter Leitung von
Prof. Dr. H.-G. Liebich

ZUR MORPHOLOGIE DES NEPHRONS
UND DES SAMMELROHRSYSTEMS
IN DER HUNDENIERE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Wulf Fischer
aus
Krefeld
München 1985

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen
Fakultät der Universität München

Dekan:	Prof. Dr. H. Zucker
Referent:	Prof. Dr. H.-G. Liebich
Korreferat:	Prof. Dr. W. Kraft

Tag der Promotion: 28. Februar 1986

Meinen Eltern

A.1.	Einleitung	1
A.2.	Die Geschichte des Buches	2
A.3.	Die ersten Schritte	3
A.4.	Die ersten Schritte	4
A.5.	Die ersten Schritte	5
A.6.	Die ersten Schritte	6
A.7.	Die ersten Schritte	7
A.8.	Die ersten Schritte	8
A.9.	Die ersten Schritte	9
A.10.	Die ersten Schritte	10
A.11.	Die ersten Schritte	11
A.12.	Die ersten Schritte	12
A.13.	Die ersten Schritte	13
A.14.	Die ersten Schritte	14
A.15.	Die ersten Schritte	15
A.16.	Die ersten Schritte	16
A.17.	Die ersten Schritte	17
A.18.	Die ersten Schritte	18
A.19.	Die ersten Schritte	19
A.20.	Die ersten Schritte	20
A.21.	Die ersten Schritte	21
A.22.	Die ersten Schritte	22
A.23.	Die ersten Schritte	23
A.24.	Die ersten Schritte	24
A.25.	Die ersten Schritte	25
A.26.	Die ersten Schritte	26
A.27.	Die ersten Schritte	27
A.28.	Die ersten Schritte	28
A.29.	Die ersten Schritte	29
A.30.	Die ersten Schritte	30
A.31.	Die ersten Schritte	31
A.32.	Die ersten Schritte	32
A.33.	Die ersten Schritte	33
A.34.	Die ersten Schritte	34
A.35.	Die ersten Schritte	35
A.36.	Die ersten Schritte	36
A.37.	Die ersten Schritte	37
A.38.	Die ersten Schritte	38
A.39.	Die ersten Schritte	39
A.40.	Die ersten Schritte	40
A.41.	Die ersten Schritte	41
A.42.	Die ersten Schritte	42
A.43.	Die ersten Schritte	43
A.44.	Die ersten Schritte	44
A.45.	Die ersten Schritte	45
A.46.	Die ersten Schritte	46
A.47.	Die ersten Schritte	47
A.48.	Die ersten Schritte	48
A.49.	Die ersten Schritte	49
A.50.	Die ersten Schritte	50
A.51.	Die ersten Schritte	51
A.52.	Die ersten Schritte	52
A.53.	Die ersten Schritte	53
A.54.	Die ersten Schritte	54
A.55.	Die ersten Schritte	55
A.56.	Die ersten Schritte	56
A.57.	Die ersten Schritte	57
A.58.	Die ersten Schritte	58
A.59.	Die ersten Schritte	59
A.60.	Die ersten Schritte	60
A.61.	Die ersten Schritte	61
A.62.	Die ersten Schritte	62
A.63.	Die ersten Schritte	63
A.64.	Die ersten Schritte	64
A.65.	Die ersten Schritte	65
A.66.	Die ersten Schritte	66
A.67.	Die ersten Schritte	67
A.68.	Die ersten Schritte	68
A.69.	Die ersten Schritte	69
A.70.	Die ersten Schritte	70
A.71.	Die ersten Schritte	71
A.72.	Die ersten Schritte	72
A.73.	Die ersten Schritte	73
A.74.	Die ersten Schritte	74
A.75.	Die ersten Schritte	75
A.76.	Die ersten Schritte	76
A.77.	Die ersten Schritte	77
A.78.	Die ersten Schritte	78
A.79.	Die ersten Schritte	79
A.80.	Die ersten Schritte	80
A.81.	Die ersten Schritte	81
A.82.	Die ersten Schritte	82
A.83.	Die ersten Schritte	83
A.84.	Die ersten Schritte	84
A.85.	Die ersten Schritte	85
A.86.	Die ersten Schritte	86
A.87.	Die ersten Schritte	87
A.88.	Die ersten Schritte	88
A.89.	Die ersten Schritte	89
A.90.	Die ersten Schritte	90
A.91.	Die ersten Schritte	91
A.92.	Die ersten Schritte	92
A.93.	Die ersten Schritte	93
A.94.	Die ersten Schritte	94
A.95.	Die ersten Schritte	95
A.96.	Die ersten Schritte	96
A.97.	Die ersten Schritte	97
A.98.	Die ersten Schritte	98
A.99.	Die ersten Schritte	99
A.100.	Die ersten Schritte	100

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. EINFÜHRUNG	1
2. LITERATUR	4
3. MATERIAL UND METHODE	34
4. ERGEBNISSE	
4.1. Proximaler Tubulus	38
4.2. Dünner Teil der Henleschen Schleife	56
4.3. Distaler Tubulus	
4.3.1. Aufsteigender dicker Teil der Henleschen Schleife	66
4.3.2. Macula densa	75
4.3.3. Distales Konvolut	78
4.4. Sammelrohrsystem	
4.4.1. Verbindungsstück	82
4.4.2. Sammelrohr	89
Verzeichnis der Abkürzungen	96
5. DISKUSSION	97
6. ZUSAMMENFASSUNG	107
7. SUMMARY	110
8. LITERATURVERZEICHNIS	113

1. E I N F Ü H R U N G

Der Hund hat in der chirurgischen Forschung zur Erhaltung menschlichen Lebens in den letzten Jahrzehnten durch richtungsweisende Experimente wissenschaftliche Bedeutung erlangt. Umso überraschender erscheint die Tatsache, daß zur Abklärung klinisch- pathologischer Reaktionsabläufe grundsätzliche Erkenntnisse zur sogenannten Normalstruktur unveränderter Organsysteme nur spärlich vorhanden sind oder oft ganz fehlen. Dies trifft insbesondere für den Kenntnisstand über die Mikromorphologie der Niere zu.

Der weitaus größte Teil unseres Wissens über Struktur und Funktion dieses Organs basiert auf nicht immer zulässigen Rückschlüssen, die vornehmlich an Labornagetieren (Ratte, Maus, Kaninchen) erhoben wurden.

Nur wenige Arbeiten gehen auf die Morphologie der Hundeniere ein. So liegen in der Literatur der letzten Jahrzehnte gehäuft morphologische Angaben zur Anzahl der Glomerula (SELLWOOD/ VERNEY, 1955) und deren Beziehungen zum Gesamtorgan Niere bzw. zum Körpergewicht der Tiere vor (RYTAND, 1938; HORSTER et al., 1980; FINCO/ DUNCAN, 1972). MIERZWA (1977) nahm Messungen am Nierenbecken des Hundes vor. Besonderes Interesse gewannen die Untersuchungen von EISENBRANDT/ PHEMISTER (1979) zur Entwicklung der Hundeniere.



Zur Morphologie des Nierenglomerulums des Hundes erschienen Arbeiten von MOVAT/ STEINER (1961), HUHN et al. (1962), CROWELL et al. (1974) sowie ANDERSON/ ANDERSON (1976), vergleichende histochemische und elektronenmikroskopische Untersuchungen am inneren Nierenmark (GROSSMANN, 1979), elektronenoptische Untersuchungen an langzeitperfundierten Hundenieren (PUTZKE/ SCHILL, 1978) und zur Mikrovaskularisation der Hundeniere (CHRISTENSEN, 1952; O'MORCHOE, 1980).

Alle diese Angaben in der Literatur müssen als Einzelarbeiten angesehen werden, die keinen Anspruch auf eine umfassende Darstellung von morphologischen Zusammenhängen zulassen.

Erst BULGER et al. (1979) publizierten in ihrem Aufsatz "Überblick über die Morphologie der Hundeniere" einen Beitrag, der der damaligen Stellung des Hundes als Patient in der modernen klinischen Forschung und Therapie gerecht wurde. Der heutige Wissensstand der funktionellen Morphologie der Niere macht weitergehende Forschungen zur spezifischen Struktur dieses Organs zwingend erforderlich.

Mit der vorliegenden Arbeit sollte ein Beitrag dazu geleistet werden, unsere Erkenntnisse über das Nephron

und das Sammelrohrsystem der Niere des Hundes zu vervollständigen.

2. L I T E R A T U R

Im Hinblick auf die Morphologie der Niere liegen im Schrifttum eine Vielzahl von Arbeiten an Vertebraten und Nichtvertebraten vor, die zusammenfassend in Handbüchern (z.B. BARGMANN, 1978) und Übersichtsartikeln abgehandelt werden.

Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Thematik soll im Folgenden nur auf eine bewußt eingeengte, jedoch repräsentative Auswahl von Hinweisen in der Literatur eingegangen werden, die sich unmittelbar mit der Hundeniere befassen oder sich mit dieser ggf. vergleichen lassen.

Proximaler Tubulus

Der Proximale Tubulus (PT) erstreckt sich vom Glomerulum bis zum Beginn des dünnen absteigenden Teils der Henleschen Schleife.

Anatomisch läßt sich der Proximale Tubulus in eine Pars convoluta und eine Pars recta untergliedern. Der gewundene Teil befindet sich in der Rinde, der gerade Teil steigt bis in die äußere Zone des Nierenmarks ab.

Aufgrund ultrastruktureller Untersuchungen kann eine Segmentierung des Proximalen Tubulus vorgenommen werden, die - tierartlich unterschiedlich- in drei (S 1 - S 3) oder vier

(S 1 - S 4) Segmente erfolgt. Dabei ist diese weitergehende Untergliederung nicht mit der Bekannten anatomischen Einteilung gleichzusetzen. Im allgemeinen bilden jedoch S 1 und S 2 die Pars convoluta, S 3 und - soweit vorhanden- S 4 die Pars recta (MAUNSBACH, 1966 und 1973; BULGER et al., 1979; KAISSLING/ KRIZ, 1979).

MAUNSBACH (1966) beschreibt bei der Ratte, ebenso wie KAISSLING/ KRIZ (1979) beim Kaninchen, drei Segmente im Proximalen Tubulus. BULGER et al. (1979) stellen bei ihren Untersuchungen an der Hundeniere vier Segmente dar. Dabei entsprechen sich in etwa die drei Segmente bei Ratte und Kaninchen. Im Vergleich zum Hund findet man nur eine Gleichsetzung bezüglich der Segmente S 1 und S 2; das dritte Segment des Hundes zeigt erhebliche Abweichungen gegenüber den anderen Spezies. FOOTE/ GRAFFLIN (1942) sprechen hingegen nur von zwei Segmenten im Proximalen Tubulus des Hundes. Die Grenzen ziehen sie dabei, verglichen mit den anderen o.g. Untersuchungen, zwischen S 2 und S 3.

Bei Ratte (MAUNSBACH, 1966 und 1973), Kaninchen (KAISSLING/ KRIZ, 1979) und Hund (ZIMMERMANN, 1911; BULGER et al., 1979) findet ein allmählicher Übergang vom S1- zum S2-Segment statt. Beim Kaninchen (KAISSLING/ KRIZ, 1979) kann ebenfalls kein abrupter Übergang von S 2 zu S 3 beobachtet werden; dagegen findet sich ein unmittelbarer Übergang bei der Ratte

(MAUNSBACH, 1966 und 1973) und beim Hund (BULGER et al., 1979). An dieses dritte Segment anschließend beschreiben BULGER et al. (1979) noch ein viertes Segment im Proximalen Tubulus des Hundes.

Der Proximale Tubulus ist mit einem einschichtigen kubischen Epithel ausgekleidet. Die Zellhöhe nimmt in ihrem Verlauf ab. Während sie im S1-Segment etwa 10 μm beträgt, liegt sie in S 3 nur noch bei etwa 5 μm (KAISSLING/ KRIZ, 1979). Die luminale Oberfläche der Hauptstückzellen trägt zahlreiche Mikrovilli, die eine Höhe von 2 - 3 μm erreichen (BARGMANN, 1978; BULGER et al., 1979; KAISSLING/ KRIZ, 1979). Bei der Ratte nehmen die Mikrovilli zwar an Zahl ab, gewinnen aber zu Ende des Tubulus wieder an Höhe, um letztlich im Schlußsegment die Ausgangswerte noch zu übertreffen (MAUNSBACH, 1966 und 1973).

Die Zellen des Proximalen Tubulus können neben Mikrovilli auch eine Zilie tragen (ANDREWS/ PORTER, 1974). Basal werden die Zellen von einer Basalmembran begrenzt. Die Hauptstückzellen sind sehr komplex in Gestalt und Bauweise, untereinander treten sie durch eine mehr oder minder starke Verzahnung in Kontakt.

BULGER et al. (1979) beschreiben beim Hund im S1-Segment in der apikalen und basalen Region die stärkste Interdigitation

im S2-Segment ist die Verzahnung am ausgeprägtesten. Die Zellen des dritten und vierten Segments nehmen untereinander nicht so engen Kontakt auf.

KAISSLING/ KRIZ (1979) sahen beim Kaninchen im S1-Segment in apikal-basaler Ausrichtung eine Verzahnung der Zellen, die fast die gesamte Zellhöhe umfaßt, im zweiten Segment ist sie auf die basalen zwei Drittel beschränkt. Dort sind die basalen Verzweigungen ("basale Villi") am auffälligsten, die frei von Organellen sind. S 3 zeigt unregelmäßige Fortsätze, die sich hauptsächlich auf den basalen Bereich beschränken.

MAUNSBACH (1973) nimmt in Anlehnung an WAUGH et al. (1967) bei der Ratte eine Einteilung der zellulären Interdigitatation im Proximalen Tubulus in vier Typen vor:

- 1) Vom Lumen bis zur Basallamina reichende Faltungen
(primäre Faltungen)
- 2) Kleine laterale Ausstülpungen, die auf den primären sitzen, nur an der luminalen Seite der Zelle (apikale, laterale Fortsätze)
- 3) Laterale Ausstülpungen, die sich ebenfalls auf der Oberfläche der primären befinden und Mitochondrien enthalten; sie sind auf die mittlere und basale Region beschränkt
- 4) Direkt an die Basalmembran angrenzend wirft sich das Zytoplasma der Zelle auf, um kleine Fortsätze oder Villi, frei von Mitochondrien, auszubilden. Zwischen diese Villi tritt basalmembranähnliches Material.

Sowohl bei der Ratte (MAUNSBACH, 1973) wie auch bei Kaninchen (KAISSLING/KRIZ, 1979) und Hund (BULGER et al., 1979) sind die Mitochondrien im S1-Segment senkrecht zur Basalmembran angeordnet. Sie können von der Zellbasis bis zur luminalen Zellmembran reichen. Die meisten liegen parallel zueinander in den Zellfaltungen.

Im S2-Segment sind die Mitochondrien weniger streng parallel angeordnet als in S 1 und erscheinen im weiteren Verlauf zu S 3 oder S 4 zufällig orientiert.

BULGER et al. (1979) beschreiben den endozytären Apparat in S 1 beim Hund als ausgedehnt mit vielen großen apikalen Vakuolen, zahlreichen großen Lysosomen mit blasser und dichter Matrix. In den apikalen Vakuolen sind kleine runde, dichte Partikel zu sehen. Die Mikrobodies erscheinen als kleine runde Körper mit abgeflachten Oberflächen, sie bilden marginale Platten.

Die Zellen in S 2 enthalten eine größere Zahl dichter, lysosomenähnlicher Strukturen, die eine runde oder unregelmäßige Form kennzeichnet. Der Kern ist abgeflachter als bei S 1, Mikrobodies sind zahlreich vorhanden.

Im dritten Segment sind endozytäre Vesikel und Vakuolen weniger zahlreich als in den ersten beiden Segmenten. Als

charakteristisches Merkmal des dritten Segments im Proximalen Tubulus der Hundeniere beschreiben BULGER et al. (1979), wie zuvor schon FOOTE/ GRAFFLIN (1942), das Auftreten großer runder Fetttröpfchen im Zytoplasma.

Ansammlungen von glattem endoplasmatischem Retikulum füllen große Bereiche des Zytoplasmas. Der Golgi-Apparat ist ausgedehnt, er besteht hauptsächlich aus Stapeln abgeflachter Zisternen und anliegender Vesikel. Die Mikrobodies sind größer als in den proximalen Abschnitten. Die Kerne sind unregelmäßig geformt und enthalten große Nukleoli. Die Basalmembran setzt sich aus einigen miteinander verbundenen Schichten dichten Materials zu einer dicken Lage zusammen.

Im weiteren Verlauf zu S 4, das frei von Fetttröpfchenansammlungen ist, nimmt der endozytäre Apparat ab. Das apikale Zytoplasma enthält membranbegrenzte Körper, die durch membranöse Myelinwindungen typisiert sind. Der Golgi-Apparat ist auffällig. Die Zytoplasmamatrix ist dicht und enthält große Peroxisomen, die zahlreicher als in den ersten beiden Segmenten vorhanden sind. STOCK/GRENIER (1973) beschreiben parakristalline Einschlüsse in den Zellen des Proximalen Tubulus beim Hund.

In den ersten beiden Segmenten sind die Tight junctions kurz (ROESINGER, 1978; BULGER, 1982), die Zonulae adhaerentes sind lang; Desmosomen werden kaum beobachtet. Die Gap junctions

liegen entlang der lateralen Zellmembranen, basal der junctionalen Komplexe. Im distalen Teil des Proximalen Tubulus finden sich lange Tight junctions (ROESINGER, 1978; BULGER, 1982), die Zonulae adhaerentes sind extrem tief. Zahlreiche kleine Desmosomen sind entlang der lateralen Zellgrenzen zu sehen, auch Gap junctions sind vorhanden.

Beim Kaninchen beschreiben KAISSLING/ KRIZ (1979) einen gut entwickelten Golgi-Apparat und ein differenziertes endoplasmatisches Retikulum in den Zellen des Proximalen Tubulus. In S 1 tritt das endoplasmatische Retikulum quantitativ in den Hintergrund. Große Bereiche des Zytoplasmas im zweiten Segment werden hingegen von glattem endoplasmatischem Retikulum eingenommen, wogegen in S 3 oft Übergänge zwischen glattem und granuliertem endoplasmatischem Retikulum beobachtet werden können. Das paramembranöse tubuläre System (PTS), das hauptsächlich aus glattem endoplasmatischem Retikulum besteht, aber auch die granuliert Form enthält, nimmt im Verlauf des Proximalen Tubulus ab.

Die kleinen Vesikel dominieren in S 1, wogegen in S 2 und S 3 die großen Vakuolen zunehmen. Die unregelmäßig verteilten Lysosomen nehmen von S 1 nach S 3 zu. Die amorphe innere Substanz scheint von S 1 zu S 3 dunkler zu werden.

Peroxisomen werden hauptsächlich in der basalen und perinukleären Zone gefunden, in S 2 auch im apikalen Zytoplasma.

Die Kerne des Proximalen Tubulus haben deutliche Heterochromatinverdichtungen, sind oft teilweise gelappt und schließen einen oder auch gelegentlich zwei Nukleoli ein.

KAISSLING/ KRIZ (1979) kamen in ihren Untersuchungen zu übereinstimmenden Ergebnissen wie ROESINGER et al. (1978), wonach sich die Tight junctions entlang des Proximalen Tubulus des Kaninchens als einheitlich darstellen. Eine tiefe Zonula adhaerens ist vorhanden, kleine Desmosomen sind gelegentlich nachzuweisen. Gap junctions zwischen den lateralen Zellfortsätzen sind regelmäßig vorhanden, am häufigsten in S 1.

Die Basalmembran ist in S 1, und noch deutlicher in S 2, drei- bis viermal dicker als im distalen Abschnitt des Nephrons. Im dritten Segment geht sie auf dieselbe Höhe wie im restlichen Nephron zurück.

MAUNSBACH (1973) schildert die Verhältnisse bei der Ratte. Rauhes endoplasmatisches Retikulum ist über das gesamte Zytoplasma der proximalen Tubuluszellen verteilt; besonders zahlreich ist es in den peritubulären zwei Dritteln. Ebenso ist glattes endoplasmatisches Retikulum im gesamten Proximalen Tubulus vorhanden, besonders häufig jedoch im dritten Segment.

Der Golgi-Apparat ist auffällig: er formt einen Gürtel

oberhalb des Kerns und um den Kern in der mittleren Zellregion. Mikrobodies finden sich vornehmlich in der basalen Zellhälfte. Sie sind in S 3 größer und reaktiver als in S 1 und S 2. Lysosomen sind dagegen in S 1 und S 2 größer und reaktiver (BEARD/ NOVIKOFF, 1969). Das apikale Zytoplasma enthält sowohl große als auch kleine Vakuolen und Tubuli. Lysosomen sind groß und zahlreich.

Die Zellkerne sind rund und ordnen sich in der Zellmitte ein. Das Chromatin ist gleichmäßig verteilt mit kleinen Verdichtungen in Nähe der Kernhülle.

Tight junctions schließen an das Tubuluslumen an und formen um jede Zelle einen Gürtel. Die Zonula adhaerens grenzt direkt an. Desmosomen sind klein und unregelmäßig vorhanden. Sie werden zwischen Tight junctions und Basalmembran gefunden, meist in der luminalen Hälfte der Zelle.

Die Basalmembran bildet eine kontinuierliche Schicht um den Proximalen Tubulus. WAUGH et al. (1967) beschreiben transversal verlaufende Cristae auf der Basalmembran.

Dünner Teil der Henleschen Schleife

Der dünne Teil der Henleschen Schleife schließt sich Übergangslos an die Pars recta des Proximalen Tubulus an. Genaue Untersuchungen über die Verhältnisse bei der Ratte liegen von OSVALDO/ LATTA (1966), OSVALDO-DECIMA (1973) und von SCHWARTZ/ VENKATACHALAM (1974) vor. Letztere nehmen eine ausführliche Typisierung und Segmentierung des dünnen Teils der Henleschen Schleife vor.

Eine vergleichbare Arbeit für das Kaninchen liefern KAISLING/ KRIZ (1979), die durch Untersuchungen von SCHILLER et al. (1980) nach der Gefrierbruchmethode ergänzt wurden.

Vergleichbare Untersuchungen beim Hund liegen nicht vor. Es kann nur auf eine Arbeit von BULGER et al. (1979) zurückgegriffen werden.

OSVALDO/ LATTA (1966) und OSVALDO-DECIMA (1973) unterscheiden nur zwei Anteile der dünnen Henleschen Schleife: einen absteigenden und einen aufsteigenden Teil. Als Merkmal zur Identifizierung dieser Anteile werden allein deren Übergänge zu den angrenzenden Abschnitten des Nephrons herangezogen. Danach kann der absteigende Schenkel erst dann sicher angesprochen werden, wenn er nachweislich an den Proximalen Tubulus anschließt. Des weiteren kann das Auftreten im

äußeren Mark der Rattenniere als Kriterium für einen absteigenden Teil der Henleschen Schleife angesehen werden (OSVALDO-DECIMA, 1973). Der aufsteigende dünne Teil wird durch seine Kontinuität zum aufsteigenden dicken Teil identifiziert.

Erst SCHWARTZ/ VENKATACHALAM (1974) nennen Kriterien, die eine Identifizierung auch ohne angrenzende Strukturen möglich machen. Grundsätzlich sind zwei Arten von Henleschen Schleifen zu unterscheiden: die Henleschen Schleifen vom kurzen und vom langen Typ. Die kurzen Schleifen steigen nicht so tief ins Nierenmark ab und haben keinen aufsteigenden dünnen Schenkel. Sie schlagen im inneren Streifen des äußeren Marks um und steigen als dicke Schenkel auf. Die langen Schleifen schlagen sich im inneren Mark in verschiedenen Tiefen um und besitzen einen dünnen aufsteigenden Schenkel, der an der Grenze vom inneren zum äußeren Mark in den dicken aufsteigenden Schenkel übergeht.

In ihrer weiteren Einteilung nennen SCHWARTZ/ VENKATACHALAM (1974) zwei Grundtypen von dünnen Schleifen, wobei sie einem Typ zwei weitere Untergruppen zuordnen.

Die Hauptmerkmale von Typ I sind:

- 1) laterale Interdigitation zwischen Epithelzellen
- 2) extrem flache Tight junctions

Dieser Typ I erscheint in zwei Formen, in einer "komplexen" und einer "einfachen" Form.

Die "komplexe" Form zeichnet sich durch apikale Mikrovilli und ein Labyrinth sekundärer Zytoplasmafortsätze aus. Die "einfache" Form hat weniger Mikrovilli und eine geringere Anzahl sekundärer Zellfortsätze. Untereinander sind die Typ I-Zellen durch kurze Zonulae occludentes verbunden.

Der Typ II hat folgende Merkmale:

- 1) keine Interdigitation zwischen Epithelzellen
- 2) Tight junctions mit größerer apiko-basaler Tiefe

Die Auskleidung dieser Tubuli besteht aus sehr flachem Epithel mit wenigen zellulären Verbindungen. Die vorhandenen Verbindungen sind jedoch ausgeprägter als bei Typ I.

Die Einteilung in vier Elemente stimmt weitestgehend mit der von KAISLING/ KRIZ (1979) und von SCHILLER et al. (1980) für das Kaninchen vorgenommenen Gliederung überein:

- 1) Der absteigende dünne Schenkel (Descending Thin Limb, DTL) als lange Schleife im äußeren Mark;
- 2) als deren Fortsetzung DTL langer Schleifen im inneren Mark;
- 3) daran anschließend aufsteigender dünner Schenkel (Ascending Thin Limb, ATL) langer Schleifen.
- 4) Als vierte Form werden die DTL kurzer Schleifen betrachtet.

Die DTL langer Schleifen im äußeren Mark entsprechen dem zuvor beschriebenen Typ I in seiner "komplexen" Form mit allen seinen

Merkmalen. Die Zellen sind höher als in allen anderen dünnen Schenkeln. Die Interzellularspalten erscheinen gewunden, die luminale Seite ist mit vielen stumpfen Mikrovilli besetzt. Die zelluläre Glykokalix erscheint nicht auffällig verdickt.

In den DTL langer Schleifen im inneren Mark findet ein scharfer Übergang vom Typ I zum Typ II statt. Auf verschiedenen Höhen im äußeren Bereich des inneren Marks ist dieser Übergang zu erkennen. Das Epithel ist flach, nicht verzahnt, die Glykokalix ungewöhnlich dick. Es sind nur wenige Zonulae occludentes nachweisbar. Kurz vor dem Umschlag der DTL zur ATL wird der Typ II vom "einfacheren" Typ I abgelöst.

In den ATL langer Schleifen setzt sich dieser "einfache" Typ I fort, um später in das Epithel des aufsteigenden dicken Schenkels überzugehen. Die Glykokalix ist deutlich.

Die DTL kurzer Schleifen werden von einem einfachen Epithel ausgekleidet, das nur wenige luminale Mikrovilli und kaum basale Zellfortsätze besitzt. Zonulae occludentes sind an der Epithelbasis angelegt. Dieses Epithel ist daher dem Typ II zuzuordnen.

Die Beobachtungen, die KAISLING/ KRIZ (1979) beim Kaninchen anstellen und von SCHILLER et al. (1980) ergänzt werden,

zeigen teilweise erhebliche Abweichungen im Vergleich zu den bei der Ratte gemachten Ausführungen.

In der Übersicht bei niedriger Vergrößerung finden KAISSLING/KRIZ (1979) dünne Schenkel Henlescher Schleifen unterschiedlicher Durchmesser. Tubuli mit geringem Lumen und mit flachem Epithel bei glatter luminaler Oberfläche wechseln mit solchen von mittlerem und großem Durchmesser, die mit höherem Epithel ausgekleidet sind und Mikrovilli auf ihrer luminalen Oberfläche tragen. In den weiteren Untersuchungen zeigt sich, daß dünne Schenkel geringen Durchmessers zu kurzen Schleifen gehören, die größeren Kalibers zu langen Schleifen.

Die dünnen Schenkel kurzer Henlescher Schleifen haben nur einen absteigenden Schenkel. Kurz vor oder von dem Umschlagspunkt an laufen sie als aufsteigende dicke Schenkel weiter. Diese DTL haben ein flaches, einfaches, nicht verzahntes Epithel. Alle Zellorganellen sind spärlich vorhanden, luminale und basale Zelloberfläche sind völlig glatt. Die Basalmembran ist dünn und einschichtig. Die Zellen sind durch Zonulae occludentes verbunden; die Anzahl der "strands" liegt bei $4,8 \pm 1,1$. Es werden regelmäßig Desmosomen gefunden (SCHILLER et al., 1980).

Die dünnen Schenkel der langen Henleschen Schleifen werden in einen äußeren und einen inneren medullären Anteil unter-

gliedert. Im oder kurz vor dem Umschlagspunkt der Schleife erscheint das Epithel des aufsteigenden dünnen Schenkels.

Das Epithel der DTL des äußeren Marks hat unterschiedliche Höhe (0,3 - 0,8 μm). Im Zytoplasma ist eine erhebliche Anzahl kleiner Mitochondrien. Es enthält zahlreiche Polysomen; Golgi-Felder und lysosomale Vesikel sind häufig vorhanden, alle anderen Organellen hingegen selten. Die apikale Zelloberfläche zeigt zahlreiche stumpfe Mikrovilli. Die basale Seite ist durch ein kompliziertes Labyrinth gekennzeichnet, das von kleinen unregelmäßigen Zellfortsätzen gebildet wird. Basal des Labyrinths liegt eine einschichtige Basalmembran. Das Epithel zeigt nur Primärfortsätze. Es sind keine Sekundärfortsätze vorhanden; deshalb kann man nicht von Interdigitation sprechen (KAISSLING/KRIZ, 1979). Die Tiefe der Zonulae occludentes ist in diesem Bereich, ebenso wie die Anzahl der "strands", geringer als in anderen Teilen der DTL.

Im weiteren Verlauf zum inneren Mark werden die Epithelien allmählich in ihrer Struktur einfacher. Die apikalen Mikrovilli sind fast vollständig verschwunden, das basale Labyrinth ist stark reduziert. Die Zellen, die anfangs an Höhe abnahmen, nehmen im Verlauf allmählich wieder an Höhe zu, ebenso wie die Anzahl der Mitochondrien und der lysosomalen Vesikel steigt. Die Basalmembran ist zu Beginn dünn,

spaltet sich aber in mehrere Schichten auf (KAISSLING/
KRIZ, 1979).

Die Tight junctions sind tiefer als im oberen Bereich,
die Zahl der "strands" ist geringer (SCHILLER et al.,
1980). Im Gegensatz zu KAISSLING/ KRIZ (1979) finden
SCHILLER et al. (1980) im ganzen DTL keine Desmosomen.

Das Epithel des aufsteigenden dünnen Schenkels der
Henleschen Schleife ist dünn und sehr stark "inter-
digitated" (KAISSLING/ KRIZ, 1979) und haben nur ein
bis zwei "strands" (SCHILLER et al., 1980). Die Basal-
fläche der Zellen ist unregelmäßig geformt. Das Zyto-
plasma enthält einige Mitochondrien und zahlreiche
lysosomale Vesikel. Alle anderen Organellen sind kaum
ausgebildet.

DARNTON (1969) beschreibt in seinen Untersuchungen über
die Kaninchenniere die Verhältnisse gegensätzlich zu
den oben genannten. Er findet in den absteigenden An-
teilen komplexere Zellen als in den aufsteigenden. Seine
Beobachtungen werden im wesentlichen von SCHWARTZ/
VENKATACHALAM (1974) bei der Ratte bestätigt. DARNTON
(1969) findet in den DTL Bereiche, in denen die Plas-
mamembranen benachbarter Zellen nicht zu funktionalen
Komplexen verschmolzen sind.

Über die Henleschen Schleife der Hundeniere sind kaum Informationen verfügbar.

BULGER et al. (1979) gehen kurz auf den dünnen Teil der Henleschen Schleife ein. Danach erscheint der Übergang vom Proximalen Tubulus zum dünnen Teil der Henleschen Schleife als abrupt. Die Zellen sind dann niedriger, haben helleres Zytoplasma, weniger Mitochondrien, geringere Größe, zahlreiche apikale Vesikel, einige kurze unregelmäßige Mikrovilli und ein dichtes Netzwerk aktin-ähnlicher Filamente an der Zellbasis. Die Kerne sind abgeflacht. Die Zonulae occludentes der Übergangzone sind dunkel. Sie haben meist nur einen Verschmelzungspunkt. Es sind zahlreiche laterale Zellfortsätze vorhanden. Im basalen Zytoplasma, nahe den Zellgrenzen, verzahnen sich kleine Fortsätze mit angrenzenden Zellen. Die Basalmembran besteht aus einer einzelnen dichten Schicht. Tight junctions im Bereich der aufsteigenden Anteile sind tiefer.

BEEUWKES/ BONVENTRE (1975) fanden bei ihren Studien an der Hundeniere keine Henleschen Schleifen, die in der Rinde umschlagen.

Distaler Tubulus

Der Distale Tubulus kann in einen medullären Teil des aufsteigenden dicken Schenkels der Henleschen Schleife (BULGER, 1982) oder in einen medullären geraden Teil (KAISSLING/ KRIZ, 1979), einen kortikalen Teil des aufsteigenden dicken Schenkels (BULGER, 1982) oder auch kortikalen geraden Teil (KAISSLING/ KRIZ, 1979) und einen distalen gewundenen (convoluted) Teil (BULGER, 1982; KAISSLING/ KRIZ, 1979) untergliedert werden. Die Macula densa wird dem mittleren Teil zugerechnet.

Aufsteigender dicker Teil der Henleschen Schleife

Der aufsteigende dicke Schenkel der Henleschen Schleife beginnt mit seinem medullären geraden Teil als Fortsetzung des dünnen Schenkels der Henleschen Schleife am Übergang des inneren Marks zum inneren Streifen des äußeren Marks. Er reicht bis zur Macula densa-Region, einige Zellen reichen darüber hinaus bis ins kortikale Labyrinth, wo der aufsteigende dicke Schenkel der Henleschen Schleife in das distale Konvolut mündet (ALLEN/ TISHER, 1976; KAISSLING/ KRIZ, 1979).

ALLEN/ TISHER (1976) unterscheiden zwei verschiedene Zelltypen im aufsteigenden Schenkel. Eine Zelle wird als R-Zelle benannt. Diese besitzt eine rauhe Oberfläche mit erhabenen

Mikrovilli. Die zweite Zelle, als S-Zelle benannt, hat eine glatte Oberfläche, die generell frei von Mikrovilli ist, mit Ausnahme der Ränder an den lateralen Zellgrenzen. R-Zellen besitzen ausgeprägte laterale Fortsätze, die intensiven Kontakt zu den Nachbarzellen aufnehmen. Bei den S-Zellen sind diese Fortsätze nicht so ausgeprägt, werden aber im Verlauf des Tubulus im kortikalen Bereich deutlicher.

Die S-Zellen übertreffen die R-Zellen an Zahl im Markbereich, die dann im Rindenbereich zahlenmäßig zunehmen. Im kortikalen Bereich nimmt auch die Anzahl der Mikrovilli auf der Oberfläche beider Zelltypen erheblich zu, was deren Unterscheidung zunehmend schwieriger macht. Das einzige morphologische Merkmal, das zur Identifizierung herangezogen werden könnte, ist, daß die Vesikel und tubulo-vesikulären Körper in vielen S-Zellen zahlreicher erscheinen.

OSVALDO-DECIMA (1973), KAISLING et al. (1977) und BULGER (1982) beschreiben bei der Ratte, ebenso wie KAISLING/ KRIZ (1979) beim Kaninchen, nur einen Zelltyp im aufsteigenden dicken Schenkel der Henleschen Schleife.

Das Epithel des medullären geraden Teils ist zu Beginn 12 - 15 μm hoch. Es nimmt allmählich an Höhe ab. Im Übergangsbereich zum distalen Konvolut hat es noch eine Höhe von 3 - 6 μm (KAISLING et al., 1977).

Die Zellen des medullären geraden Teils zeigen eine starke basale Faltung. Die Falten verzahnen sich mit Fortsätzen angrenzender Zellen (OSVALDO-DECIMA, 1973). Die Fortsätze sind apiko-basal ausgerichtet und enthalten große, perpendikulär angeordnete Mitochondrien (KAISSLING/ KRIZ, 1979).

Die Zellen sind durch kurze Tight junctions verbunden (OSVALDO-DECIMA, 1973; KAISSLING/ KRIZ, 1979). Aus verschiedenen Arbeiten (SCHILLER et al., 1978; SCHILLER/ TAUGNER, 1979; SCHILLER et al., 1980) geht hervor, daß die Anzahl der "strands" im geraden Teil des Distalen Tubulus zwischen vier und acht liegt, deren Tiefe zwischen 100 und 175 nm. Die Verhältnisse im distalen Konvolut entsprechen in etwa denen im geraden Teil.

Die Zelloberfläche ist glatt beim Kaninchen (KAISSLING/ KRIZ, 1979) oder mit unregelmäßigen, kurzen Mikrovilli bei der Ratte besetzt (OSVALDO-DECIMA, 1973). Eine Zilie dürfte auf jeder Zelle zu finden sein (ANDREWS/ PORTER, 1974; KAISSLING/ KRIZ, 1979). Der große Kern liegt in der Mitte der Zelle und nimmt fast deren ganze Höhe ein. Der Golgi-Apparat liegt basal oder lateral des Kerns. Rauhes endoplasmatisches Retikulum liegt hauptsächlich an der lateralen Zellmembran. Polysomen sind über die ganze Zelle verteilt.

Zu Ende des medullären geraden Teils wird das Epithel niedriger, einige kräftige Mikrovilli erscheinen auf der Zellober-

fläche. Der Kern rückt in die apikale Hälfte der Zelle.

Im kortikalen geraden Teil wird das Epithel weiter flacher, um ein Minimum in der Nähe der Macula densa zu erreichen. Die lateralen Zellgrenzen sind gewunden. Die verzahnten Zellfortsätze sind unregelmäßig in Form und Größe, die basalen Fortsätze werden weniger.

Die Zahl der Mitochondrien nimmt ab, sie sind unregelmäßig angeordnet. Die luminale Zelloberfläche kann mehr oder weniger Mikrovilli tragen (KAISSLING/ KRIZ, 1979). Der Kern ist abgeflacht und nimmt die ganze Zellhöhe ein (KAISSLING et al., 1977). Er zeigt starke Chromatinverdichtungen (KAISSLING/ KRIZ, 1979). Der Golgi-Apparat liegt paranukleär. Im apikalen Zytoplasma liegen Vesikel. Alle anderen Zellorganellen sind über die ganze Zelle verteilt (KAISSLING et al., 1977).

Beim Hund beschreiben BULGER et al. (1979) einen allmählichen Übergang vom aufsteigenden dünnen zum aufsteigenden dicken Schenkel der Henleschen Schleife. Das Epithel im geraden Teil nimmt an Höhe allmählich zu, es bekommt eine komplexere Form. Das Zytoplasma der Übergangszellen ist hell, apikal enthält es Vesikel. Im Verlauf des Anstiegs werden die Mitochondrien größer und zahlreicher.

Nur ein Zelltyp kleidet die beiden Anteile des aufsteigenden dicken Schenkels aus. Das basale Zytoplasma enthält Fortsätze,

die sich nach lateral verzahnen und mit Mitochondrien gefüllt sind. Die Fortsätze erstrecken sich selten über die gesamte Zellhöhe. Der Kern liegt apikal. Das Zytoplasma enthält apikal Vesikel, kleine dichte Granula und größere dichte Granula, die Lysosomen zu sein scheinen. Die apikale Zelloberfläche ist mit einer Reihe von Mikrovilli am Rand der Zelle, spärlichen Mikrovilli und einer Zilie auf der übrigen Oberfläche bedeckt. Bündel feiner Filamente finden sich in den basalen Zytoplasmafortsätzen. Die Basalmembran ist einschichtig.

Im Markstrahl nimmt die Zellhöhe gegenüber dem äußeren Mark ab. Generell befindet sich die Macula densa dort, wo der gerade Teil zum Glomerulum zurückkehrt. Das gerade Segment setzt sich noch mit einigen Zellen über die Macula densa hinaus fort. Am Übergang zum distalen Konvolut nimmt die Zellhöhe abrupt zu.

Macula densa

Die Macula densa ist im kortikalen geraden Teil des Distalen Tubulus lokalisiert. Ihre Einzelzellen überragen das angrenzende Epithel um das Drei- bis Fünffache, sie interdigitieren weder untereinander noch mit benachbarten Zellen. Die lateralen Zellmembranen stülpen sich in den Interzellularraum, dessen Weite, nach Untersuchungen von KAISLING/ KRIZ (1982) an Ratte und Kaninchen, vom Funktionszustand der Nieren zum Zeitpunkt

der Fixation abhängt. Diese Autoren schließen daraus auf eine hohe Permeabilität für Wasser in diesem Tubulusabschnitt.

KAISSLING/ KRIZ (1979) finden darüber hinaus beim Kaninchen zahlreiche dünne Mikrovilli, die Zellbasis ist nicht immer von einer Basalmembran unterlagert. Diese Beobachtungen stimmen mit denen von SCHILLER/ TAUGNER (1979) bei Ratte und Hund überein.

Die zahlreichen kleinen Mitochondrien liegen bevorzugt im basalen und perinukleären Bereich. Der große, runde Kern nimmt zwei Drittel der Zellen ein. Im apikalen Zytoplasma treten wenige Vesikel auf, die basal und lateral des Kerns liegen.

Der Golgi-Apparat, Zisternen des rauhen endoplasmatischen Retikulums und andere Zellorganellen sind spärlich ausgebildet (KAISSLING/ KRIZ, 1979).

Im Rahmen der ultrastrukturellen Untersuchung des juxtaglomerulären Apparats in der Hundeniere beschreibt SPANGLER (1979) auch die Zellen der Macula densa. Im Gegensatz zu anderen Abschnitten des Distalen Tubulus zeigen die Zellen nur eine schwache basale Membranfaltung. Die kleinen Mitochondrien liegen bevorzugt in der basalen Zellregion. Auf der apikalen Zelloberfläche finden sich zahlreiche kurze Mikrovilli. Der

Kern liegt zentral in einem häufig blassen Zytoplasma. Nur selten werden basale Spalten oder unregelmäßige Raumbildungen zwischen der Zelloberfläche und der Basalmembran gefunden.

In ihrem Überblick über die Morphologie der Hundeniere sehen BULGER et al. (1979) in vielen Punkten eine Ähnlichkeit zwischen den Zellen der Macula densa und denen des distalen Konvoluts. Ihr Zytoplasma enthält viele längliche Mitochondrien, Fetttröpfchen, dichte Granula, apikale Vesikel und Golgi-Felder.

Kurze, kräftige Mikrovilli erheben sich auf der apikalen Oberfläche. Golgi-Membranen häufen sich apikal oder lateral des Kerns. Die lateralen Interzellularräume sind häufig erweitert. Die basalen Zytoplasmafortsätze, die bis in die Region der extraglomerulären Mesangiumzellen reichen, sind in ihrer Orientierung unregelmäßiger als die der angrenzenden Tubuluszellen. Ein dichtes Netz von Fortsätzen, die entweder von extraglomerulären Mesangiumzellen oder vielleicht von Zellen der Macula densa ausgehen, wird beschrieben.

Distales Konvolut

Die Zellen der Pars convoluta schließen sich übergangslos an das vorangegangene Segment an. Das Epithel ist drei- bis sechsmal höher als das des kortikalen geraden Teils. Die

apikale Zellmembran ist dicht mit kurzen, schlanken Mikrovilli besetzt. Die Zellen interdigitieren sehr stark mit den Nachbarzellen. Die Fortsätze erstrecken sich über drei Viertel der Zellhöhe (KAISSLING/ KRIZ, 1979). In diesen Zellfortsätzen liegen zahlreiche lange Mitochondrien (KAISSLING et al., 1977; KAISSLING/ KRIZ, 1979; BULGER, 1982).

Der Kern ordnet sich im apikalen Zelldrittel an. In seiner Nähe liegen auch einige Mitochondrien, der Golgi-Apparat, wenig rauhes endoplasmatisches Retikulum, einige Polysomen, Lysosomen und Vesikel (KAISSLING et al., 1977; KAISSLING/ KRIZ, 1979).

CRAYEN/ THOENES (1975) ordnen in ihren Untersuchungen an der Rattenniere Pars recta und Pars convoluta dem gleichen Zelltyp zu. Sie nennen ihn "Mittelstückzelle". Die Merkmale dieser Zelle sind eine nur schwache Verzahnung I. Ordnung mit den palisadenförmig angeordneten Mitochondrien, sowie ein Labyrinth III. Ordnung. Auch OSVALDO-DECIMA (1973) spricht von einer strukturellen Ähnlichkeit der Zellen im Distalen Tubulus.

BULGER et al. (1979) beschreiben beim Hund eine morphologische Übereinstimmung der Zellen des aufsteigenden dicken Schenkels mit denen des distalen Konvoluts, trotz größerer Zellhöhe im letzteren. Das basale Zytoplasma wird durch zahlreiche Fortsätze ausgefüllt. Eine breite Zytoplasmazone, ausgeprägter als

im aufsteigenden dicken Schenkel, umgibt den runden Kern im distalen Konvolut. Das Zytoplasma enthält apikale Vesikel, Golgi-Einheiten und Mitochondrien. Kurze zwiebförmige Mikrovilli befinden sich auf der apikalen Oberfläche. Fetttröpfchen, deren Peripherie dichter als ihr Zentrum erscheint, kommen im distalen Konvolut vor. Die apikale Zelloberfläche trägt eine Reihe von Mikrovilli entlang der lateralen Zellgrenzen, dazwischen spärliche Mikrovilli, eine einzelne Zilie ist vorhanden.

Sammelrohrsystem

Verbindungsstück

Das Sammelrohrsystem besteht aus dem Verbindungsstück und dem Sammelrohr. Das Verbindungsstück stellt den letzten Abschnitt eines einzelnen Nephrons dar, bevor sich mehrere Nephrone zu einem Sammelrohr vereinigen.

Beim Kaninchen (KAISSLING/ KRIZ, 1979) setzt sich das Epithel des Verbindungsstücks aus zwei Zelltypen zusammen, einer Verbindungsstückzelle und einer Schaltzelle, die im Verhältnis 5 : 4 den Tubulus auskleiden. Im elektronenoptischen Bild erscheint die Verbindungsstückzelle sehr hell. In der Zellmitte liegt ein großer, runder Kern, die luminale Oberfläche

ist glatt. Das hervorragende Merkmal dieser Zelle sind die ausgeprägten und zahlreichen basalen Falten, die dicht angeordnet bis in die apikale Zellzone reichen können, aber keine regelmäßige Orientierung aufweisen. Zahlreiche Mitochondrien mit einer dichten Matrix verteilen sich gleichmäßig im Zytoplasma.

Die Schaltzelle besteht aus einer dichten Matrix. Sie erscheint in zwei Manifestationen, einer "grauen" und einer "schwarzen", die beide dicht mit Mitochondrien gefüllt sind. Die elektronenoptische Dichte wie die Anzahl der Polysomen sind im "grauen" Typ geringer. Die beiden Zellen unterscheiden sich hauptsächlich durch zwei Arten von Vesikeln, die nur in der "grauen" Schaltzelle gefunden werden: erstens runde Vesikel unterschiedlicher Größe, die bläschenförmige Einziehungen aufweisen können, und zweitens flache Vesikel oder Sacculi, die sich mehrfach übereinander stapeln können. Im Gegensatz zur Verbindungsstückzelle tragen beide Typen zahlreiche Projektionen auf ihrer Oberfläche.

Das Verbindungsstück der Kaninchenniere ist dem kortikalen Sammelrohr strukturell sehr ähnlich (WELLING et al., 1983).

CRAYEN/ THOENES (1975) definieren das Verbindungsstück als einen Tubulusabschnitt, in dem vier näher beschriebene Zelltypen auftreten:

- 1) Eine "Mittelstückzelle" mit kurzen Mikrovilli, einer schwachen Verzahnung I. Ordnung, einem kräftigen Labyrinth II. Ordnung mit palisadenförmig angeordneten Mitochondrien und einem Labyrinth III. Ordnung.
- 2) Eine "Intermediärzelle" mit einem niedrigen Labyrinth II. Ordnung und weniger zahlreichen Mitochondrien.
- 3) Eine "helle Sammelrohrzelle", flacher als die beiden ersteren. Auf der Oberfläche tragen sie wenige kurze Mikrovilli, an der Zellbasis ein Labyrinth III. Ordnung.
- 4) Eine "Schaltzelle" mit dichtem Zytoplasma, relativ vielen Mitochondrien, Vesikeln im apikalen Zellbereich, einem Labyrinth III. Ordnung und blattförmigen Fortsätzen der luminalen Zellmembran.

KNAUF et al. (1983) fanden bei der Ratte morphologische Veränderungen und numerische Verschiebungen zwischen den Zellen von Verbindungsstück und kortikalem Sammelrohr als Antwort auf eine geänderte Stoffwechsellaage. HAGEGE/ RICHET (1975) betrachten die "dunklen" Zellen als einen funktionellen Zustand im renalen Tubulusepithel der Rattenniere.

Für die entsprechenden Abschnitte der Hundeniere konnten bislang in der Literatur keine Hinweise gefunden werden.

Sammelrohr

Das Sammelrohr unterzieht sich von der Nierenrinde zur Papille einer allmählichen Veränderung seiner epithelialen Wandauskleidung. Während das Epithel in der Rinde und im äußeren Mark noch aus zwei Zelltypen besteht, bedeckt im inneren Mark nur noch ein Zelltyp diesen Tubulusabschnitt.

Die Sammelrohrzelle nimmt an Höhe von zunächst 5 µm bis zu 120 µm an der Papille zu. Auf der luminalen Oberfläche erheben sich wenige kurze Mikrovilli, die basale Zone zeigt ein für diese Zelle charakteristisches Merkmal, das "membranöse Labyrinth". Füllt es im kortikalen Bereich noch die gesamte basale Zellhälfte, beschränkt es sich im inneren Mark auf kurze Falten. Die Organellen nehmen an Zahl ab. Obwohl das Zytoplasma der Sammelrohrzellen elektronenoptisch generell heller als das der Schaltzellen erscheint, kann es im äußeren Mark dunkler sein.

Die Schaltzellen, die im Epithel nur bis zum äußeren Mark gefunden werden, haben zunächst eine sehr dunkle Matrix, die distal allmählich heller wird. Zytomorphologisch ähneln die Zellen der "grauen" Manifestation aus dem Verbindungsstück. Sie enthalten eine große Zahl invaginiert und flacher Vesikel, viele Mitochondrien, einen großen Golgi-Apparat und einen basal liegenden Kern mit deutlichen Heterochromatinkondensationen (KAISLING/ KRIZ, 1979).

GRIFFITH et al. (1968) beschrieben als erste an der Ratten- niere das Auftreten einer Schaltzelle im kortikalen Sammel- rohr. Nach CRAYEN/ THOENES (1975) setzt sich dieses im Rinden- bereich und im äußeren Mark aus dem - beim Verbindungsstück beschriebenen - dritten und vierten Zelltyp zusammen.

Über den weiteren Verlauf des Sammelrohrs zur Papille zeichnet OSVALDO-DECIMA (1973) bei der Ratte ein ähnliches Bild wie KAISSLING/ KRIZ (1979) bei der Kaninchenniere.

BULGER et al. (1979) geben einen kurzen Überblick über das Sammelrohr in der Hundeniere. Es wird von hellen Sammelrohr- zellen und dunklen Schaltzellen gebildet.

Die dunklen Zellen tragen zahlreiche Mikroplicae auf ihrer apikalen Oberfläche, eine relativ glatte laterale Zellmembran und Falten, die das basale Zytoplasma füllen. Das apikale Zytoplasma enthält Vesikel, der übrige Teil viele Mitochondrien, Fetttröpfchen und kleine Golgi-Einheiten. Die Basalmembran besteht aus einer einzelnen Schicht geringer Dicke. Die dunklen Zellen werden bis ins innere Mark gefunden.

Die kortikalen hellen Zellen haben nur wenige apikale Mikro- villi, mit Ausnahme einer Reihe an den lateralen Zellgrenzen. Im inneren Mark tragen die hellen Zellen zahlreiche kleine Mikrovilli. Wenige Falten liegen im basalen Zytoplasma. Mit Ausnahme einer kleineren Zahl Mitochondrien stimmen die hellen Zellen morphologisch mit den dunklen überein.

3. MATERIAL UND METHODE

Als Untersuchungsmaterial dienten die Nieren von 11 Beagle- Hunden. Die Tiere waren sowohl männlichen als auch weiblichen Geschlechts und wogen zwischen 8 und 14 kg. Die entnommenen Nieren hatten eine Länge zwischen 50 und 65 mm. Die Breite lag zwischen 30 und 45 mm. Das Gewicht der Nieren betrug im Schnitt 40 bis 50 g.

Die Tiere dienten im Rahmen eines Transplantationsprogramms als Organspender.

Dabei wurde jeweils eine Niere als Spenderniere auf ein anderes Tier übertragen. Die nichttransplantierte Niere wurde nach einer Perfusionsfixation in situ extirpiert und für die vorliegenden morphologischen Untersuchungen weiterbehandelt.

Die Entnahme der Nieren erfolgte unter einer Halothan-

Herrn Prof. Dr. Dr. hc. W. Brendel, Direktor des Instituts für Chirurgische Forschung, Klinikum Großhadern, Universität München, und seinen Mitarbeitern danke ich für die Überlassung des Untersuchungsmaterials.

Inhalationsnarkose der Tiere. Die Hunde wurden mit Atropin (0,5 mg/ Tier) prämedikamentiert. Eingeleitet wurde die Kombinationsnarkose mit Combelen/ Ketanest. Während der Operation wurden den Hunden durchschnittlich 100 ml Urographin und 100 bis 200 ml NaCl infundiert.

Der Zugang zum Abdomen wurde durch die Linea alba gewählt. Zunächst wurde eine Niere zur Implantation exzidiert. In die A. renalis der verbliebenen Niere wurde ein Katheter eingebracht. Mit Beginn der Perfusion wurde die A. renalis oberhalb des Katheters unterbunden und die V. renalis durchtrennt.

Zwei unterschiedliche Lösungen dienten der in situ Fixation der Nieren durch Perfusion:

- 1) Glutaraldehyd 1 % in 0,15 M Na- Cacodylat- Puffer, pH 7,3 und 600 mosmol
- 2) Glutaraldehyd 2 % in 0,15 M Na- Cacodylat- Puffer, pH 7,3 und 340 mosmol

Wenn im Text nicht extra erwähnt, werden die mit Lösung 2) erzielten Ergebnisse beschrieben.

Die Perfusion erfolgte mit Lösung 1) oder 2) (200 ml) über einen Zeitraum von 5 Minuten. Die Temperatur des Mediums lag bei 37°C, der Perfusionsdruck bei 150 mm Hg.

Nach Entnahme der Niere wurde das Organ in dünne Scheiben geschnitten und diese ca. 24 Stunden in 6 % Glutaraldehyd in 0,15 M Na- Cacodylat- Puffer bei 4 - 8° C gelagert. Anschließend wurden die Scheiben in waschlösung (0,15 M Na- Cacodylat- Puffer mit Saccharose- Zusatz, pH 7,3 und 340 mosmol) nachbehandelt.

Aus den Organstücken wurden kleine Proben mit einer Kantenlänge von 1 mm geschnitten. Von der Rinde bis zur Papille wurden jeweils 6 - 10 Blöcke in vertikaler und ebenso viele in horizontaler Richtung entnommen.

Die Kontrastierung der Untersuchungsproben erfolgte mit 1 % Osmiumtetroxyd in 0,15 M Na- Cacodylat- Puffer für 3 Stunden bei 4° C. Vor der Entwässerung in einer aufsteigenden Azeton- Reihe (50 %, 70 %, 90 %, 100 %) wurden die Stücke zur Entfernung des überschüssigen Osmiumtetroxyds 3 mal jeweils 10 Minuten mit einer 0,15 M Na- Cacodylat- Lösung, angereichert mit Saccharose, behandelt. Die Einbettung erfolgte über eine aufsteigende Azeton- Araldit- Reihe (25 %, 50 %, 66 %, 100 %) in reinem Araldit. Die eingebetteten Proben wurden 24 Stunden bei 35° C und 48 Stunden bei 45° C polymerisiert.

Von einem Teil der Proben wurden Semidünnschnitte zur lichtmikroskopischen Betrachtung und Dokumentation ange-

fertigt. Dazu wurden die Schnitte mit Methylenblau angefärbt.

Der andere Teil der Blöcke wurde direkt für die elektronenoptische Untersuchung weiterbehandelt. Nach Anfertigung der Ultradünnschnitte wurde eine elektronisch gesteuerte Nachkontrastierung der einzelnen Schnittpräparate mit 2 % Uranylacetat und Bleicitrat nach Reynolds vorgenommen.

1814

Die Proben wurden an einem Siemens- Transmissions-Elektronenmikroskop (ELMISKOP 101) untersucht und photographisch dokumentiert.

4. E R G E B N I S S E

4.1. Proximaler Tubulus

Der Proximale Tubulus (PT) kann in vier strukturell unterschiedliche Abschnitte (S 1 - S 4) unterteilt werden, die übereinstimmend mit einem iso- bis hochprismatischen Epithel ausgekleidet sind. Das erste Segment folgt auf ein kurzes Halssegment und bildet zusammen mit dem zweiten Segment die Pars convoluta des Proximalen Tubulus. Das dritte und vierte Segment stellen gemeinsam die Pars recta des Proximalen Tubulus dar, an die der dünne absteigende Teil der Henleschen Schleife Anschluß findet.

Im ersten Segment erreichen die Epithelzelle die größte Höhe aller gemessenen Werte des Proximalen Tubulus von durchschnittlich 12 - 14 μm (Abb. 1).

Der vornehmlich runde bis ovale Kern (N) weist überwiegend euchromatinreiche zentrale Bereiche auf, das Heterochromatin ist feinschollig randständig gelagert. Es treten zahlreiche Poren auf der Oberfläche in Erscheinung, der Kernspalt ist schmal. Stellenweise ist die Oberfläche des Kerns durch flache Kerben eingezogen. Ein Nukleolus (Nc) (Durchmesser 1 μm) liegt meist exzentrisch. Die Lage des Kerns ist bevorzugt basal.

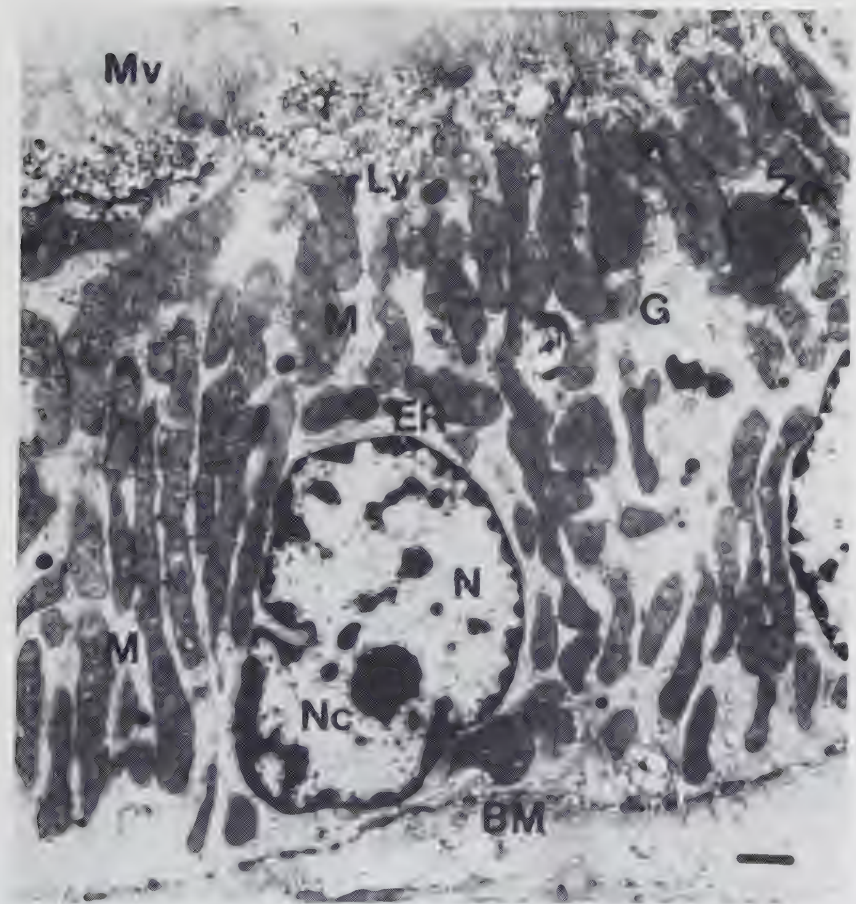


Abb. 1: Epithelzelle aus dem ersten Segment des
Proximalen Tubulus

Weite Abschnitte des Zytoplasmas sind mit vorwiegend parallelorientierten Mitochondrien (M) vom Crista- Typ durchzogen. Sie stehen meist senkrecht zur Basalmembran und können teilweise bis an die apikale Zellgrenze reichen. Sie erscheinen als langgestreckte Organellen von 5 - 8 μm mit auffallend hoher elektronenoptischer Dichte ihrer Matrix. Während die in den basalen Plasmalemmfaltungen lokalisierten Mitochondrien ausschließlich parallel angeordnet sind, liegen in zentralen Zytoplasmazonen andere Mitochondrien zufällig verteilt.

In Kornnähe können einzelne oder mehrere Golgi- Felder (G) auftreten, deren Membranstapel fein vakuolär, mit unterschiedlich dichtem Material gefüllt, erscheinen. In unmittelbarer Nachbarschaft und zwischen Mitochondrien treten regelmäßig membranbegrenzte Lysosomen (Ly) auf, die sich in Größe und Dichte unterscheiden (Abb. 2a). Das endoplasmatische Retikulum (ER) durchzieht in seiner rauhen Form weite Teile des Zytoplasmas. Der Abstand der Membran ist gering.

Im apikalen Zellbereich ist zwischen der Basis des Mikrovilli- saumes (Mv) und den Mitochondrienstapeln (M) eine etwa 2 μm breite Zone ausgebildet, die bevorzugt mit feinvakuolären und schaltubulären Membransystemen ausgefüllt ist. Im einzelnen treten hier, häufig im direkten Kontakt zur Basis

der Mikrovilli, Tubuli (T) (Durchmesser 0,1- 0,3 μm) in gestreckter und enggeknäulter Form auf, deren Inhalt meist eine hohe Elektronendichte aufweist.

In enger Nachbarschaft zu diesen tubulären Einlagerungen treten membranbegrenzte, runde bis ovale Einschlüsse auf (Durchmesser 0,1 - 1,0 μm), deren Inhalt bevorzugt elektronenoptisch hell erscheint (Abb. 2a, V). Im Zytoplasma treten, in diffuser Verteilung, regelmäßig Ribosomen in rosettenförmiger Anordnung auf.

Die Organellen der freien Oberfläche stellen sich als ein regelmäßiger, 2 - 3 μm langer Mikrovillisaum dar, der an seiner Basis an das beschriebene feintubuläre System (T) Anschluß findet. Die einzelnen Fortsätze stehen in dichter Anordnung und verleihen dieser resorptionsaktiven Zellzone eine in sich geschlossene Struktur.

An der Epithelbasis faltet sich das Plasmalemm in Fortsätze I., II. und III. Ordnung ein. Hieran lassen sich drei Grade der Interdigitation unterscheiden (Abb. 2b, 3). Zwischen die Ordnungen I und II sind Mitochondrien gelagert (s. o.), die III. Ordnung ist frei von Organellen, sie erscheinen als "basale Villi".

Die unterlagerte Basalmembran (Bm) (0,4 - 0,9 μm) bleibt

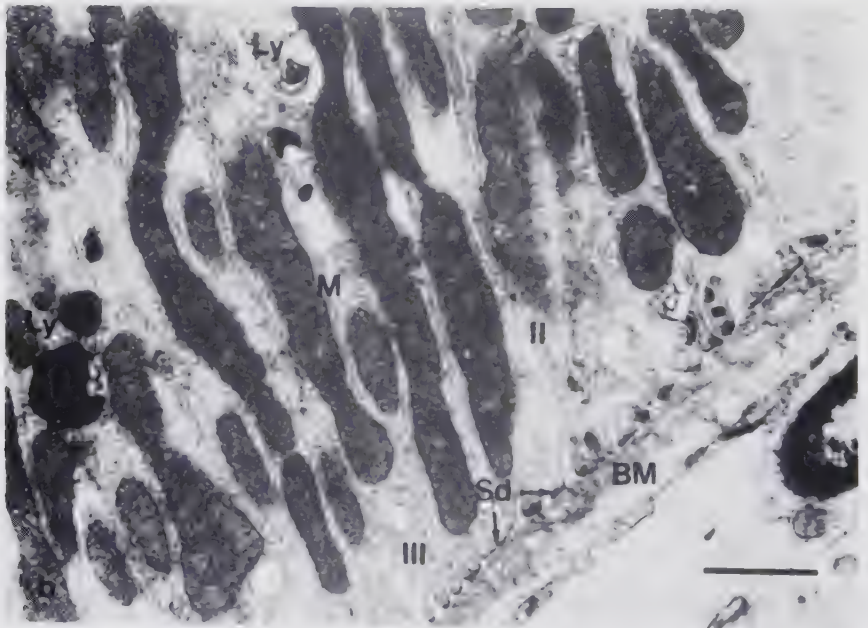
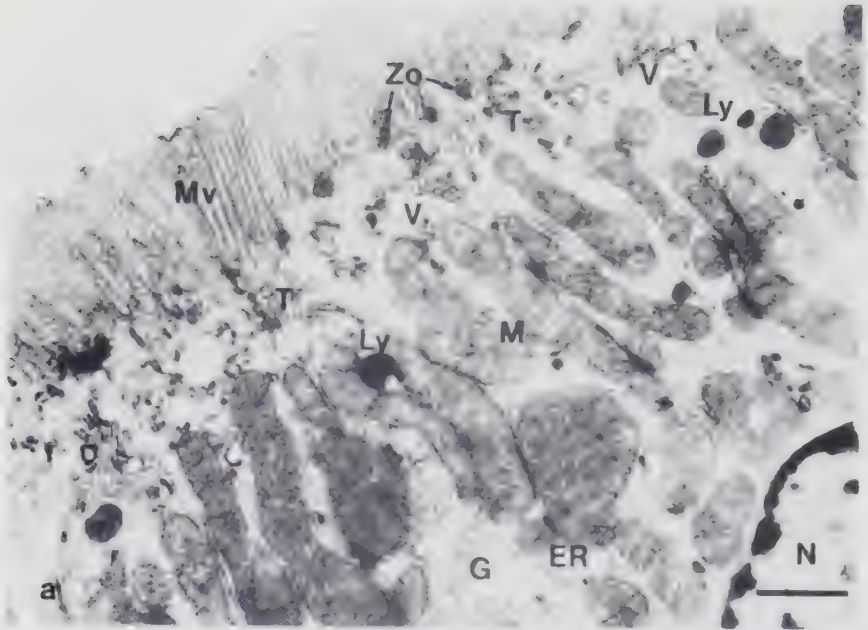


Abb. 2: Ausschnitt aus einer Epithelzelle des ersten Segments

a) Apikaler Zellbereich

b) Basaler Zellbereich

als eine weitgehend geschlossene Grenzschiicht großflächig gestreckt, ohne der basalen Einfaltung zu folgen.

Die Verbindungen zu Nachbarzellen stellen sich in sehr unterschiedlicher Form dar. Apikal bilden Zonulae occludentes (Tight junctions) eine strukturell dichte Verbindung (Abb. 2a, Zo). Im Schnittbild werden in auffallend kurzen Abständen diese Zellabschlüsse getroffen. Der Abstand benachbarter Plasmalemmata erweitert sich distal zu deutlich ausgeprägten Zonulae adhaerentes (Abb. 1, Za), denen sich in unregelmäßiger Folge Gap junctions (Nexon) anschließen.

Vereinzelte wird der interzelluläre Spaltraum durch Desmosomen überbrückt. Benachbarte Hauptzellen stehen über unregelmäßig lange fingerförmige Fortsätze in losem Kontakt. An der Epithelbasis stehen sämtliche freien Endigungen der Interdigitation I. - III. Ordnung durch Semidesmosomen mit der Basalmembran in Kontakt (Abb. 2b, Sd).

Nach Fixation mit Medium 1 werden die Interzellularräume (IZR) benachbarter Hauptzellen und die intrazellulären, aber extraplasmatisch entwickelten Spalten der Interdigitation (I. - III. Ordnung) deutlich hervorgehoben (Abb. 3).

Der Übergang vom ersten zum zweiten Segment des Proximalen Tubulus vollzieht sich allmählich. Grundsätzlich ähnelt

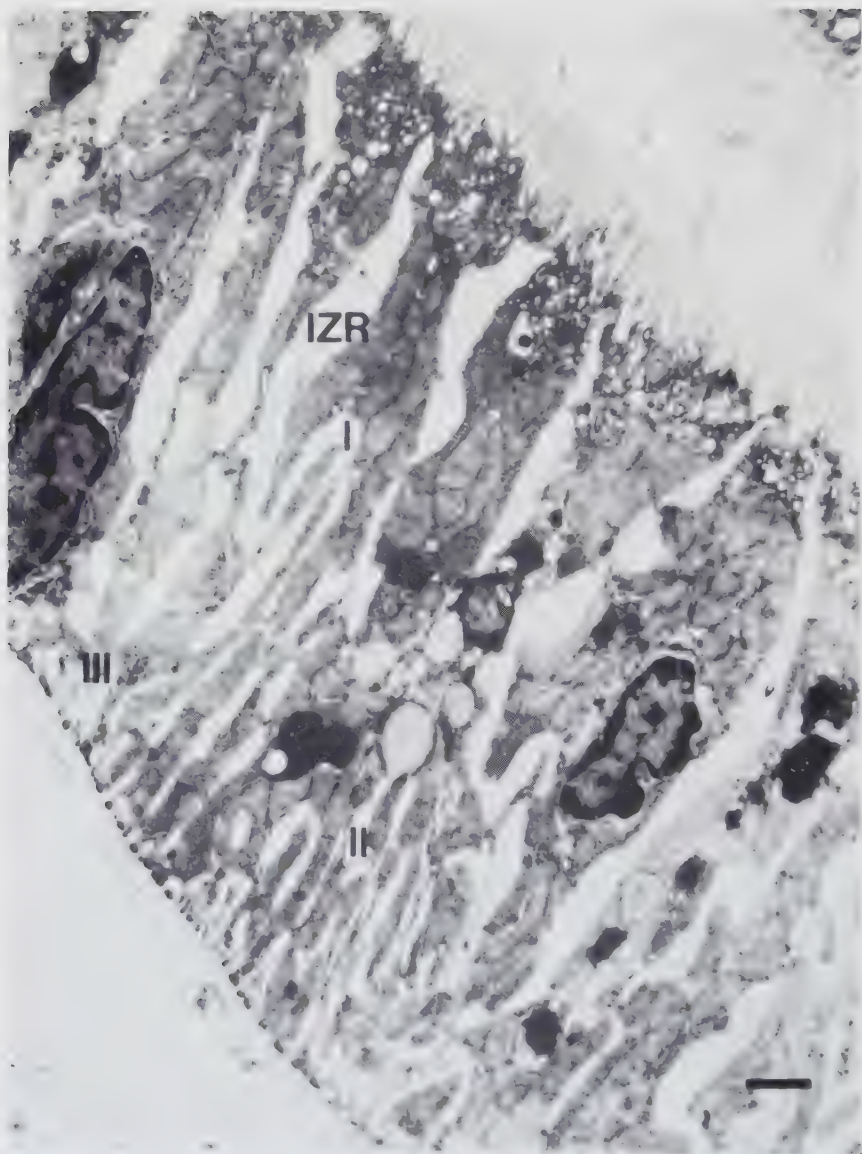


Abb. 3: Epithelzelle aus dem ersten Segment des Proximalen Tubulus nach Perfusion mit Medium 1

der morphologische Bau dieses Nephronabschnitts den bei S 1 beobachteten strukturellen Eigentümlichkeiten (Abb. 4). Abweichend davon kann im zweiten Segment eine Zellhöhe von 10 - 12 μm ermittelt werden.

Die Mitochondrien (Abb. 4, M) verlieren ihre parallel orientierte Anordnung und verteilen sich bevorzugt unregelmäßig im Zytoplasma, sie sind in ihrer Gesamtheit geringer an Zahl. Die Lysosomen (Lj) nehmen an Zahl, Dichte und Größe zu. Ihr Inhalt ist unregelmäßig strukturiert. Neben dem rauen endoplasmatischen Retikulum mit elektronenoptisch feingranulierter Matrix treten vielfach dichte Myelinkörper und leere Vakuolen auf.

Das submikrovilläre System der Tubuli (T) erscheint gegenüber S 1 lockerer strukturiert, die Schläuche sind mit unterschiedlich dichtem Material gefüllt. Daneben treten zahlreiche membranbegrenzte Vakuolen und Mikrovesikel auf. Die Länge der oberflächenvergrößernden Mikrovilli (Mv) ist geringgradig auf vorherrschend 2 μm reduziert. Die basale Faltung beschränkt sich in ihrer apikalen Ausdehnung bis etwa zur Zellmitte, die "basalen Villi" nehmen an Häufigkeit zu.

Nach Perfusionsfixation mit Medium 1 wird diese reduzierte basale Faltenbildung und die Zunahme der basalen Interdigitiation III. Ordnung verdeutlicht (Abb. 5).

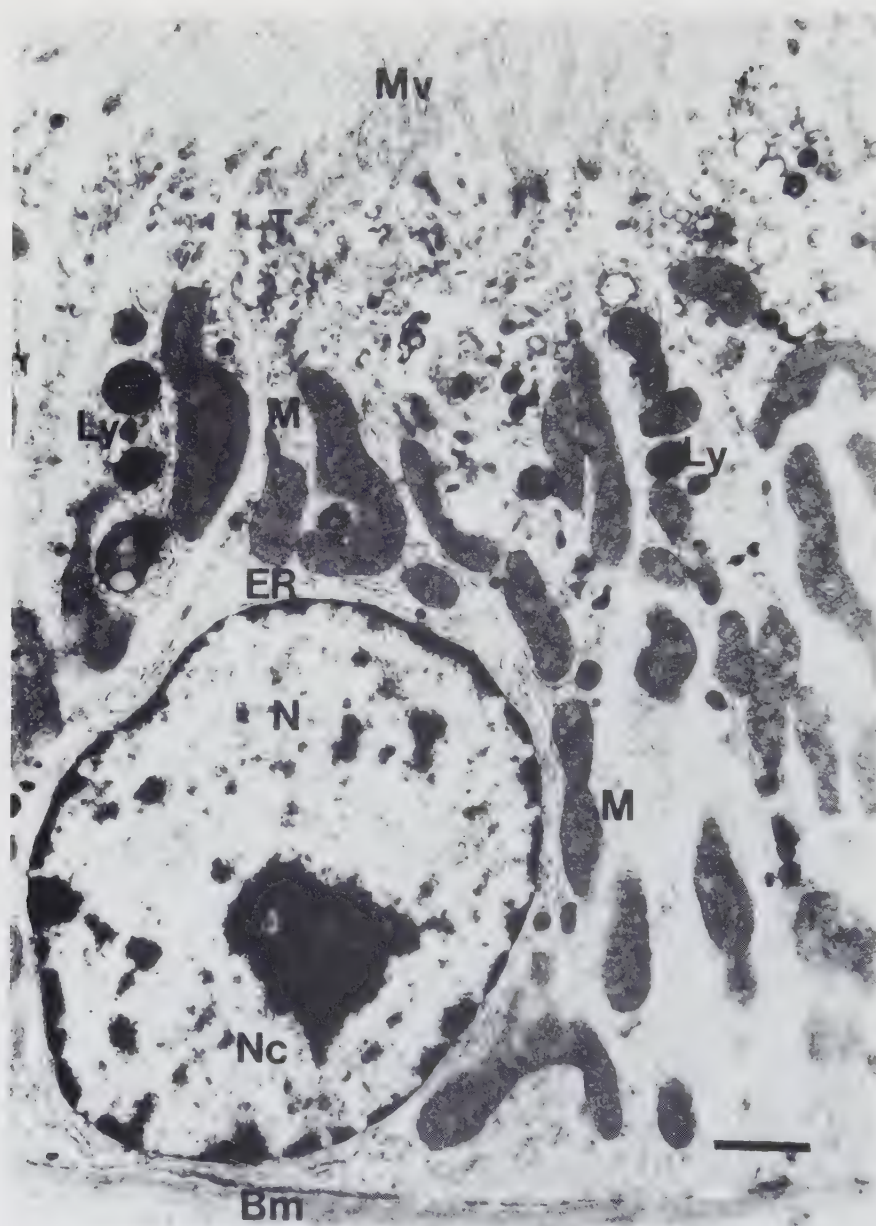


Abb. 4: Epithelzelle aus dem zweiten Segment
des Proximalen Tubulus

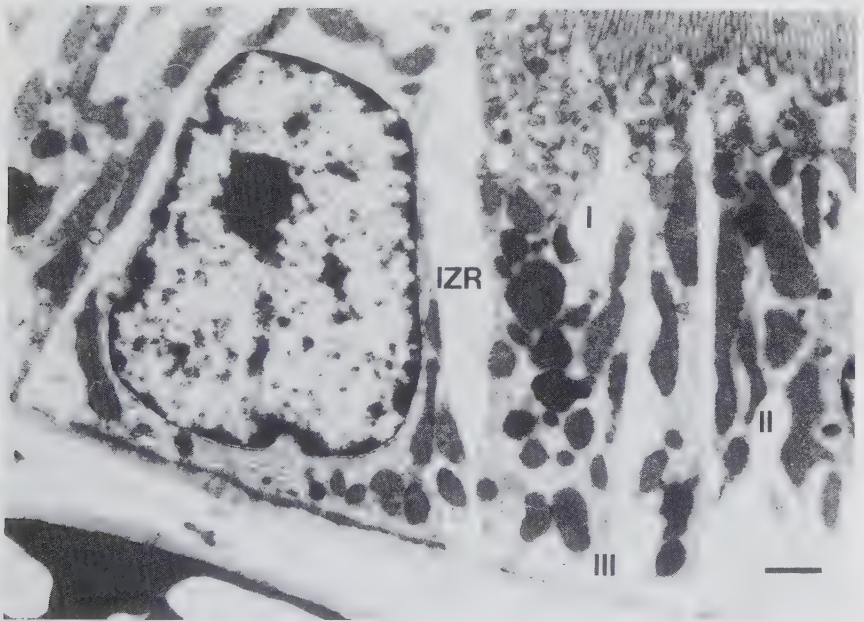


Abb. 5: Epithelzelle aus dem zweiten Segments des Proximalen Tubulus nach Perfusion mit Medium 1

Die Struktur des dritten Segments unterscheidet sich auffallend von den Tubulusabschnitten des ersten und zweiten Segments. Der Übergang zwischen zweitem und drittem Segment ist scharf.

Die Zellen variieren stark in ihrer Höhe (zwischen 7 und 12 μm) (Abb. 6a und 6c). Der Kern (N) ist vorherrschend oval, durch flache Einziehungen unregelmäßig geformt. Die Matrix erscheint durch feingranuläre Verdichtungen in ihrer Gesamtstruktur elektronenoptisch dunkler, der Anteil heterochromatischer Kernstrukturen randständig und zentral erhöht. Die Häufigkeit an Kernporen ist gegenüber S 1 und S 2 reduziert, das Auftreten von Vakuolen ist ebenfalls vermindert.

Die Mitochondrien (M) liegen bevorzugt in kernfernen Zytoplasmaabschnitten in unregelmäßiger Anordnung. Ihre Größe reicht bis maximal 1 μm , ihr Querschnitt nur etwa bis 0,3 μm . Sie schließen mitochondriale Granula ein.

Perinukleär treten vermehrt feinvakuoläre, differenzierte Golgi-Felder (G) auf, die sich zu einem komplexen Golgi-Apparat zusammenschließen. Die Größe der Einzelvesikel variiert stark, sie sind mit unterschiedlichem Material gefüllt (Abb. 6b).

Die Anzahl der Lysosomen (Abb. 6b, Ly) im apikalen Zellbereich und der Ausbildungsgrad des submikrovillären Tubulussystems

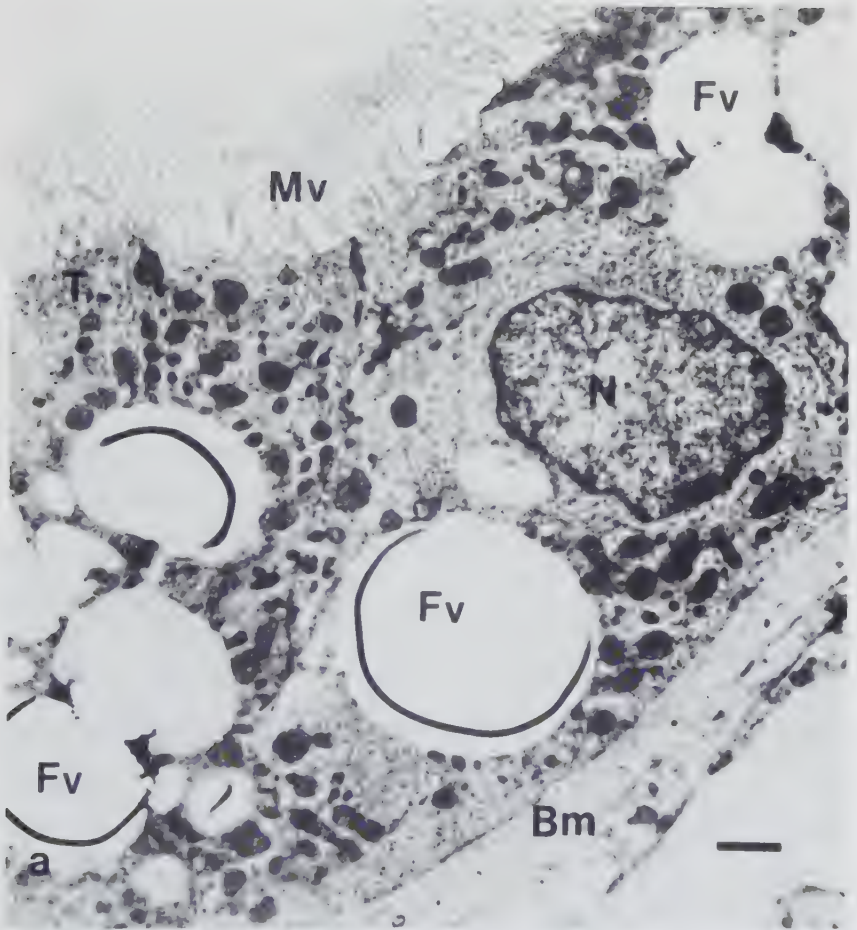


Abb. 6a: Epithelzelle aus dem dritten Segment des
Proximalen Tubulus

sind bei diesem Segment gegenüber S 1 und S 2 erheblich reduziert. Bestehende Schläuche (Abb. 6a, 6b, T) sind unregelmäßig angeordnet, sie sind zumeist englumig und mit elektronenoptisch dichtem Material gefüllt. Das rauhe endoplasmatische Retikulum und Polyribosomen verteilen sich diffus im Zytoplasma.

Auffallend für diesen Wandabschnitt ist der unterschiedlich hohe Anteil an vakuolären Fetteinschlüssen (Abb. 6a, 6b, 6c, Fv). Diese liegen in Form von Einzelvakuolen oder nach Konfluation als großblasige Einlagerungen vor. Nach subplasmalem Kontakt können Oberflächenzerreißungen auftreten, der kleinvakuoläre Inhalt wird merokrin ins Tubuluslumen entleert (Abb. 6c, Fv).

Die lumenseitig freie Oberfläche dieses Tubulusabschnitts wird durch unregelmäßig angeordnete Mikrovilli (Mv) differenziert. Sie sind auffallend spärlich und treten entweder einzeln oder büschelartig auf. Ihre Länge beträgt zwischen 1,8 und 4,0 μm , mit einer Häufung bei 2,0 μm .

Die basale Faltung erscheint stark reduziert, sie beschränkt sich auf die unmittelbare Nähe zur Basalmembran. Nur kurze, schmale Zellausstülpungen, deren größere noch vereinzelt Mitochondrien einschließen, stehen über schwache Semidesmosomen mit der Basalmembran in Kontakt. Dieser Epithelverband

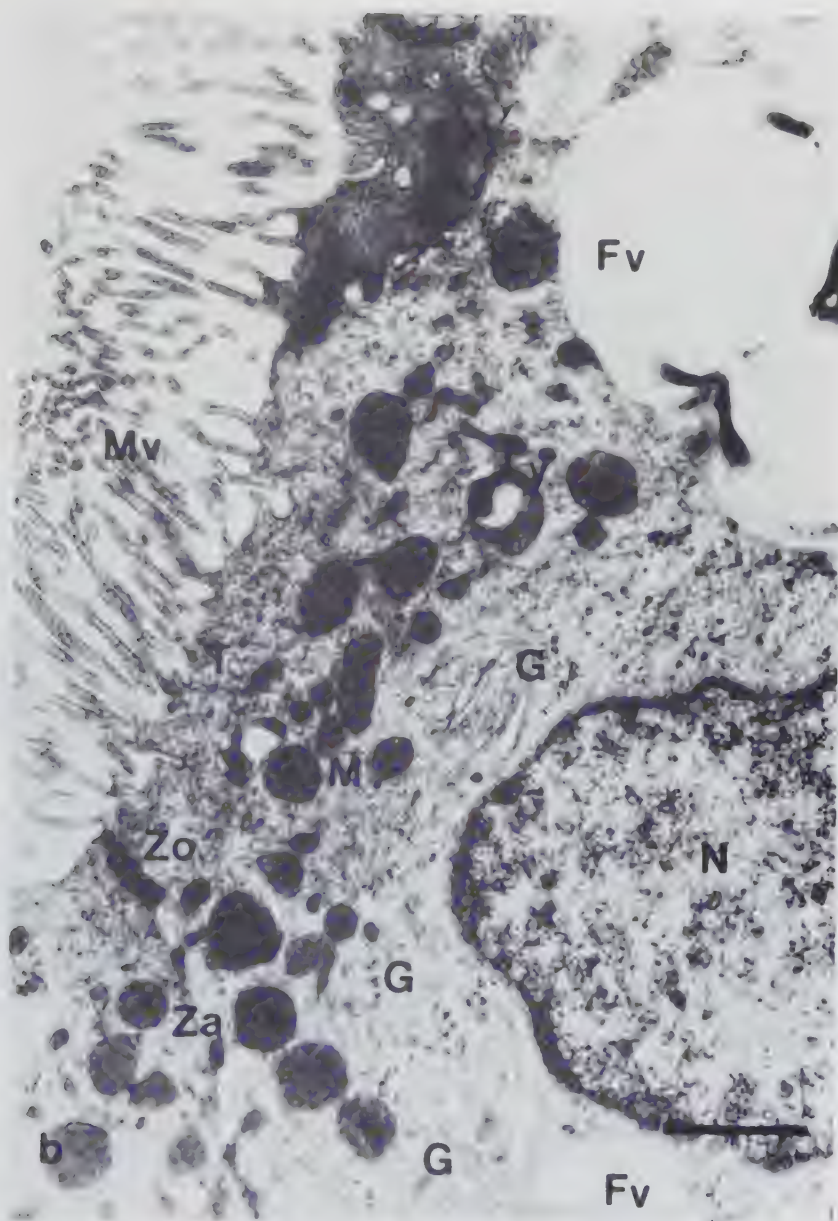


Abb. 6b: Ausschnitt aus einer Epithelzelle des
dritten Segments: apikaler Zellbereich

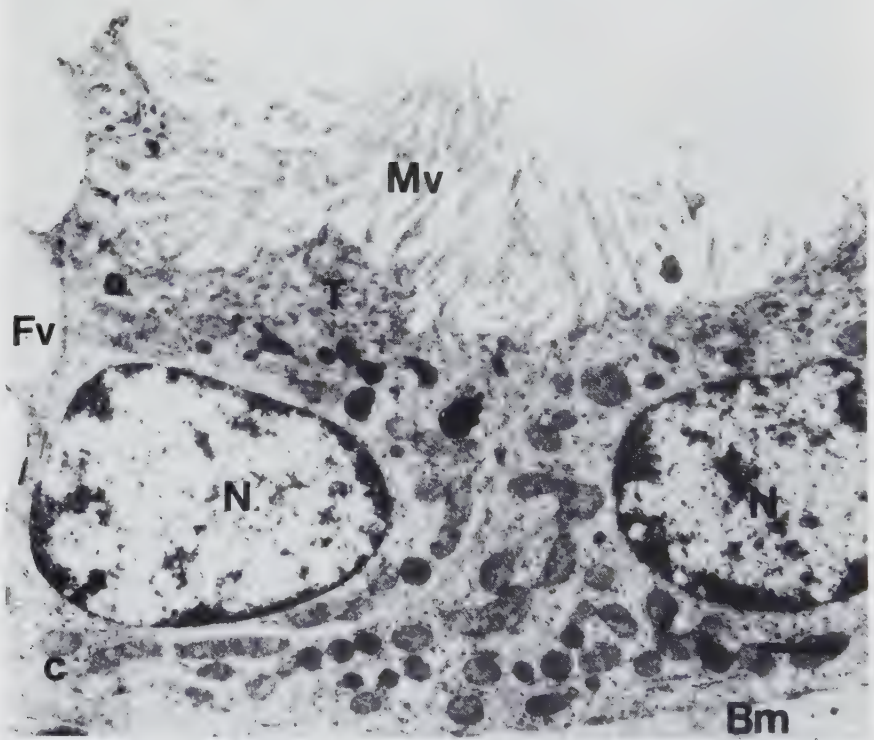


Abb. 6c: Epithelzelle aus dem dritten Segment des
Proximalen Tubulus

wird von einer, hier oftmals geschichteten Basalmembran unterlagert, die eine Dicke von 0,5 - 0,7 μm erreicht.

Die interzellulären Zellverbindungen erscheinen in ihrer Gesamtheit ausgeprägter. Die Zonulae occludentes sind dichter und länger als in den Abschnitten S 1 und S 2, die Zonulae adhaerentes deutlicher. Weite Kontaktflächen werden durch vergrößerte Gap junctions verbunden.

Das vierte Segment tritt als Sonderbildung des Proximalen Tubulus beim Hund zwischen dem dritten Segment und dem dünnen absteigenden Teil der Henleschen Schleife auf (Abb. 7).

Die Zellen dieses Abschnitts weisen eine maximale Höhe von 10 - 12 μm auf. Sie flachen sich in Nähe der Henleschen Schleife über eine kurze Wegstrecke bis auf 4 - 5 μm ab. Entsprechend der differierenden Zellhöhe zeigt der Kern eine runde bis abgeplattete Form mit unregelmäßigen Einziehungen. Die Matrix schließt einen sehr hohen Anteil von Euchromatin ein, Heterochromatin lagert sich im Schnittbild als auffallend dünner Saum der Kernmembran innen an, der Nukleolus (Nc) ist randständig.

Das Zytoplasma weist eine homogene Dichte auf, die Anzahl der Mitochondrien (M) ist erhöht (Abb. 7). Die Zellorganellen verteilen sich vermehrt im kernabgewandten Zytoplasma, sie



Abb. 7: Epithelzelle aus dem vierten Segment des
Proximalen Tubulus

sind klein, gedrungen und elektronenoptisch dicht und weisen intramitochondrale Granula auf.

Die Golgi-Felder (G) sind perinukleär angeordnet, sie sind erweitert. Im lumennahen Zytoplasma liegen gehäuft lysosomale Einschlüsse (Ly) unterschiedlicher Struktur. Neben homogen erscheinenden, ovalen bis runden membranbegrenzten Vakuolen treten diese Organellen mit myelinartig verdickten Membranstapeln auf. Zuweilen erscheinen Vakuolen elektronenoptisch leer. Die submikrovillär lokalisierten tubulären Einlagerungen (T) sind locker verteilt, dicht in ihrer Innenstruktur, gegenüber Abschnitt S 1 - S 3 vermindert. Die Dichte der Mikrovilli (Mv) ist unregelmäßig, neben lichterem Abschnitt häufen sich diese Organellen zu Büscheln. Ihre Länge differiert zwischen 0,8 μm und 2,0 μm .

Einige Hunde zeigen in diesem Tubulusabschnitt feinvakuoläre Fetteinschlüsse, die bis an die Grenzzelle zum absteigenden dünnen Teil der Henleschen Schleife reichen (Abb. 8a, 10). Vergleichbare Tubulusabschnitte anderer Hunde hingegen sind frei von diesen paraplasmatischen Einlagerungen. Die basalen Plasmalemmfaltungen erscheinen stark reduziert bis undeutlich ausgeprägt. Sie stehen häufig parallel zur Basalmembran und schließen zum Teil Mitochondrien ein.

Die strukturellen Verbindungen zu Nachbarzellen sind gegenüber den anderen Tubulusabschnitten nicht so ausgeprägt.

Allein die oberflächennahen Zonulae occludentes sind deutlich. Interzelluläre Digitationen sind nur spärlich ausgebildet. Die Basalmembran erreicht eine Dicke von 0,1 - 0,7 μm .

Der Übergang der Epithelhöhe des vierten Segments zum dünnen absteigenden Teil der Henleschen Schleife erfolgt in unterschiedlicher Höhe (Abb. 8a, 8b, 9a, 10). Er kann sich über mehrere Zellen erstrecken oder ohne eigenständige Differenzierung steil auf das Niveau des abgeflachten Epithels der Henleschen Schleife erfolgen.

4.2. Dünner Teil der Henleschen Schleife

Der Anschluß des dünnen absteigenden Teils der Henleschen Schleife an den Proximalen Tubulus erfolgt übergangslos (Abb. 8a, 9a, 9b, 10). Der Abstieg des iso- bis hochprismatischen Epithels auf die niedrige Zellhöhe des dünnen Teils der Henleschen Schleife (0,5 - 2-0 μm) vollzieht sich innerhalb von ein bis zwei Zellen des Proximalen Tubulus (Abb. 8a, 8b).

Es werden verschiedene Erscheinungsformen des dünnen Teils der Henleschen Schleife beobachtet. Diese unterscheiden sich in Zellhöhe, Anzahl und Höhe der Projektionen auf der apikalen Oberfläche und dem Grad der basalen Interdigitation.

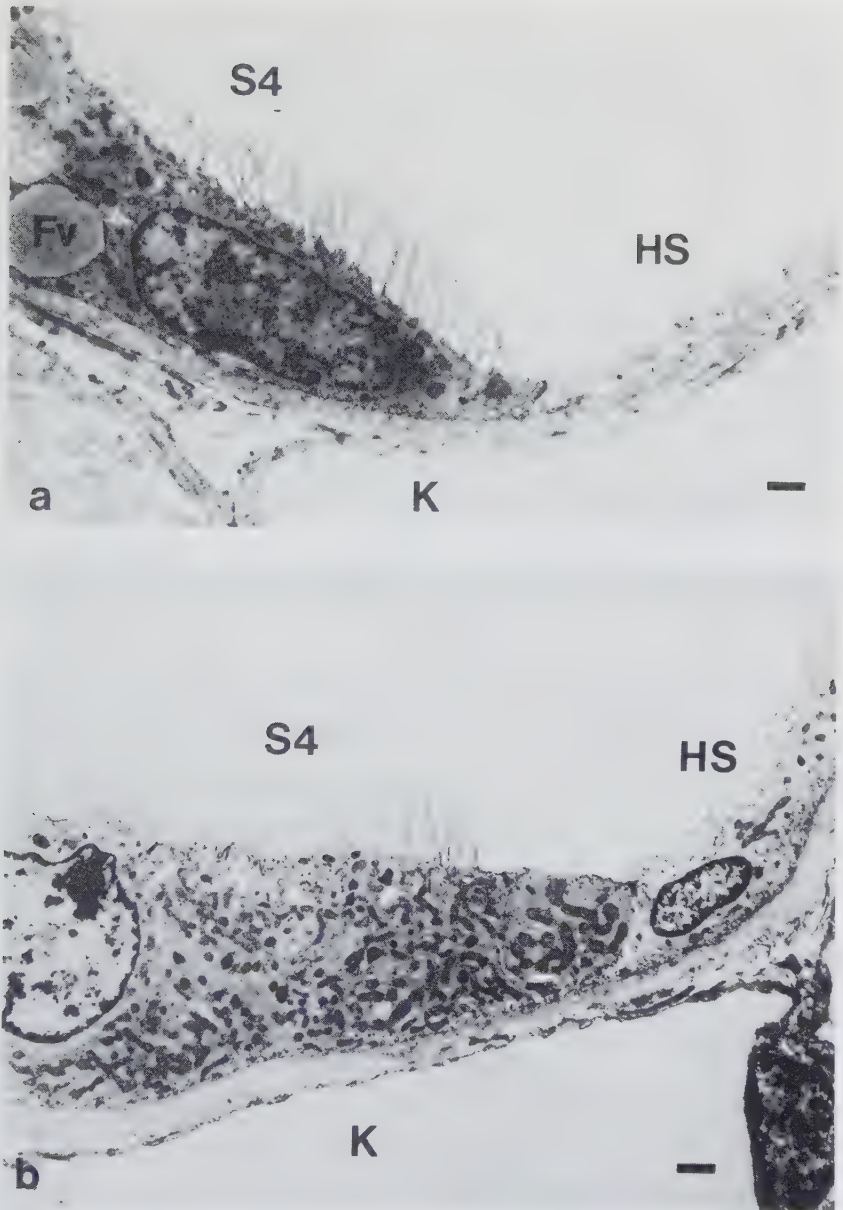


Abb. 8: Übergang vom vierten Segment des Proximalen Tubulus
zum dünnen absteigenden Teil der Henleschen Schleife
a) und b)

Im Folgenden wird zwischen zwei Epitheltypen unterschieden: einem komplizierteren Typ I und einem einfacheren Typ II.

Typ I zeichnet sich durch zahlreiche Mikrovilli (bis $0,8\ \mu\text{m}$) auf seiner Oberfläche aus (Abb. 8a, 11 Mv). Sie stehen teils einzeln, teils büschelweise. Gelegentlich werden sie von einer einzelnen Zilie überragt. Die Zellen sind untereinander sehr stark verzahnt, ihre Basalflächen werden durch eine große Anzahl sekundärer Zytoplasmafortsätze ausgefüllt (Abb. 9, 10, 11).

Der Zellkern wölbt sich, abhängig von der Zellhöhe, mehr oder weniger stark in das Tubuluslumen vor. Er ist abgeflacht und zeigt entlang der Kernmembran einen dichten Saum von Heterochromatin, im Kernzentrum finden sich zwischen einem gleichmäßig verteilten Euchromatin einige Heterochromatinkondensationen. Das Zytoplasma wirkt elektronenoptisch heller als das der Zellen des Proximalen Tubulus.

Einige kleine Mitochondrien verteilen sich, zufällig orientiert, über das Zytoplasma. Sie haben eine hohe elektronenoptische Dichte und deutliche Cristae. Dichte Lysosomen zeigen sich neben Schläuchen rauhen endoplasmatischen Retikulums und zahlreichen rosettenförmig angeordneten Polyribosomen im Zytoplasma.

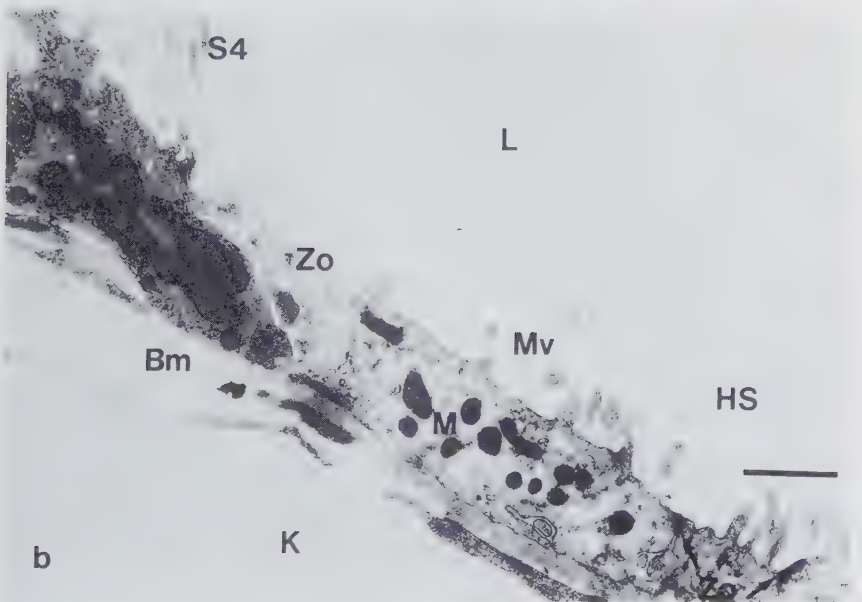
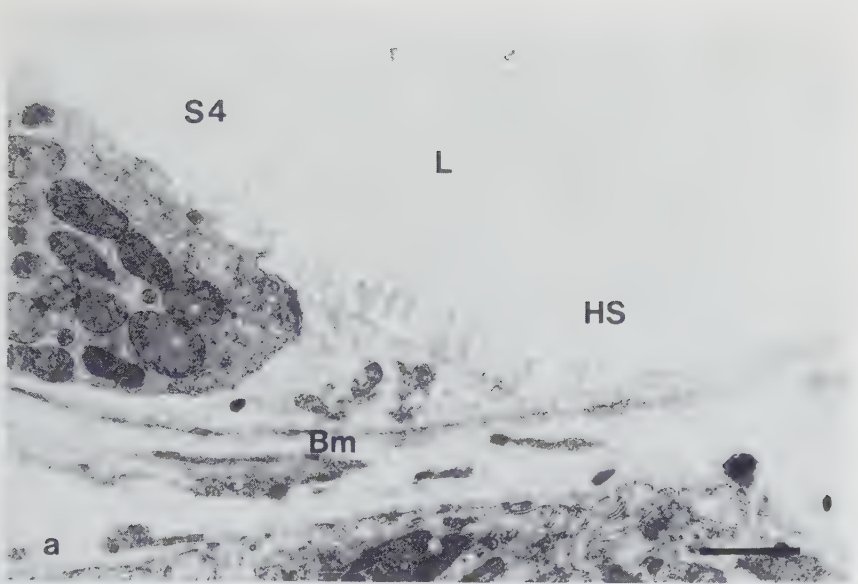


Abb. 9: Übergang vom vierten Segment des Proximalen Tubulus
zum dünnen absteigenden Teil der Henleschen Schleife

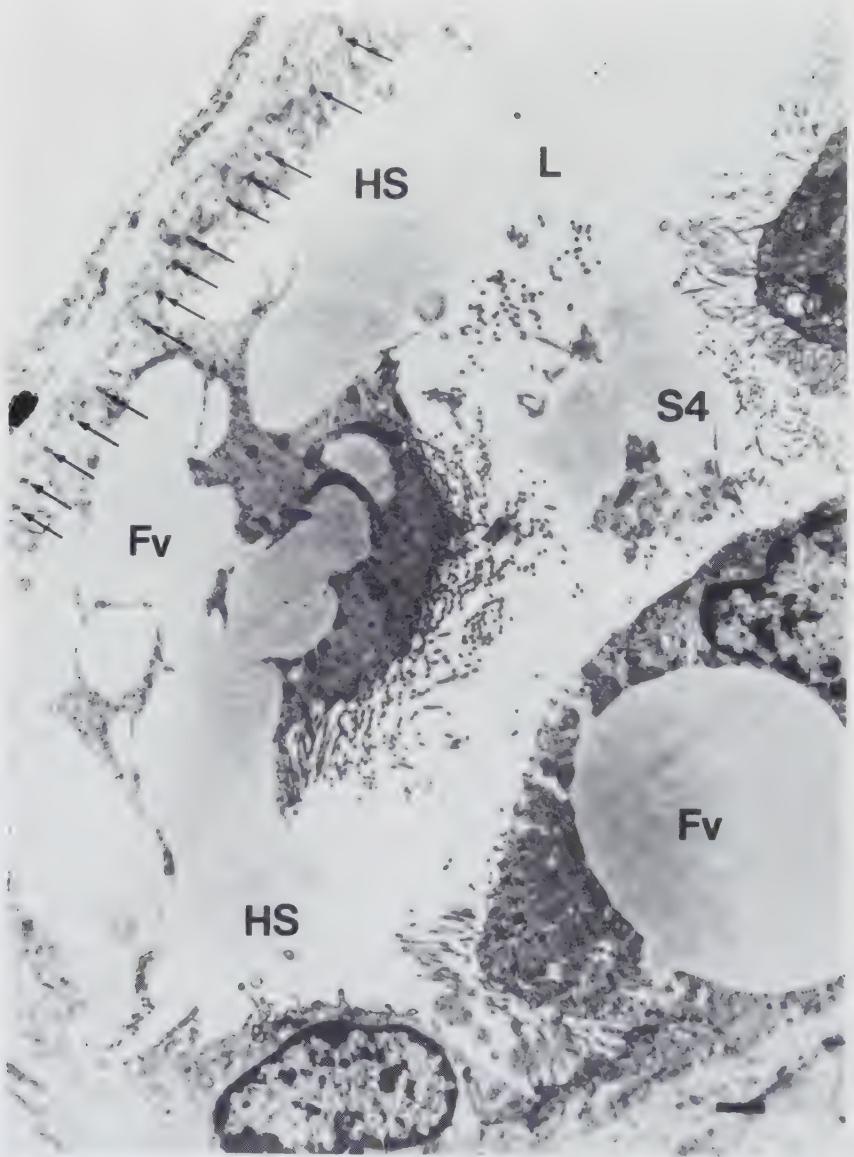


Abb. 10: Übergang vom vierten Segment des Proximalen Tubulus
zum dünnen absteigenden Teil der Henleschen Schleife

Die große Zahl der dicht nebeneinander liegenden Zonulae occludentes steht für das starke fingerförmige Ineinander-greifen benachbarter Zellen (Abb. 10, →). Die Basalmembran (Dicke 0,1 - 0,2 μm) besteht aus einer einzelnen Schicht.

Das Epithel des Typ I tritt in einer "komplizierteren" und einer "einfacheren" Variante auf. Letztere hat weniger Mikrovilli, einen geringeren Grad der Verzahnung und weniger sekundäre Zytoplasmafortsätze (Abb. 8b). Beide Epitheltypen werden im direkten Anschluß an den Proximalen Tubulus beobachtet.

Neben den bisher beschriebenen Formen soll noch eine weitere Variante erwähnt werden, die vereinzelt auftritt (Abb. 9a). In diesen Fällen erreicht das Epithel bereits eine kurze Strecke nach dem Proximalen Tubulus eine Höhe von nur noch 0,2 μm . Die luminale und basale Oberfläche erscheinen fast glatt. Kleine Schläuche rauhen endoplasmatischen Retikulums, einige Mikrovesikel und Polyribosomen füllen die Zellgrundsubstanz. Möglicherweise ist diese Zelle eine Sonderbildung oder kann dem Typ II zugeordnet werden.

Den Typ II kennzeichnet ein flaches Epithel (3 - 4 μm) (Abb. 12). Die luminale Oberfläche ist weitgehend ohne Projektionen, auf der Basalfläche zeigen sich geringfügige oberflächenvergrößernde Strukturen. Benachbarte Zellen können sich bis unter dieses Deckepithel ausdehnen (Abb. 12, *).

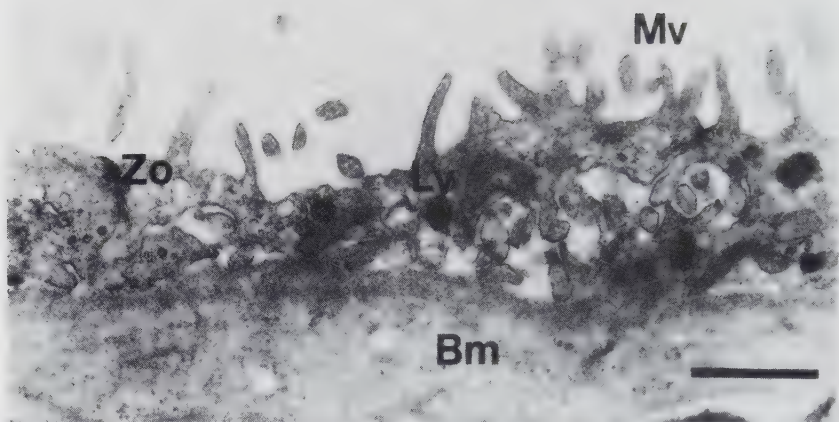


Abb. 11: Ausschnittsvergrößerung zu Abb. 10

Dünner Teil der Henleschen Schleife: Typ I

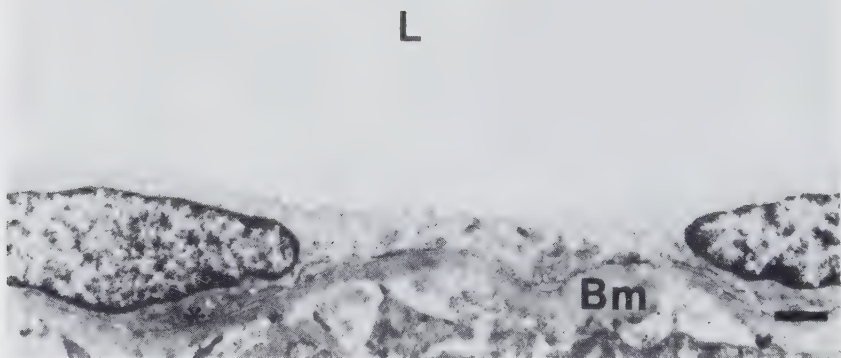


Abb. 12: Dünner Teil der Henleschen Schleife im

äußeren Mark: Typ II

Der Kern hat eine scheibenartige Form, er wölbt sich nur sanft in das Lumen vor und weist zentral eine gleichmäßige Eu- und Heterochromatinverteilung auf, peripher verdichtet sich Heterochromatin zu einem dichteren Saum.

Im Zytoplasma verteilen sich wenige kleine, elektronenoptisch hell erscheinende Mitochondrien. Schläuche rauhen endoplasmatischen Retikulums, Polyribosomen und membranbegrenzte Vesikel füllen die Zellgrundsubstanz.

Die Zellen dieses Typs finden sich sowohl im Bereich des äußeren Marks (Abb. 12) als auch im inneren Mark neben den Zellen des Typs I (Abb. 13).

Im inneren Mark sind neben den beschriebenen Zellen einige andere zu beobachten, die dem Verlauf der Henleschen Schleife zugehörig zu sein scheinen, aber nicht in die vorgenommene Typisierung I bzw. II eingeordnet werden können (Abb. 14, 15a, 15b).

Die dokumentierten Zellen haben eine Höhe von 4 - 6 μm . Ihre luminale Oberfläche kann entweder über weite Abschnitte frei von Mikrovilli sein (Abb. 15a, **, 15b) oder zahlreiche kurze, gleichmäßig verteilte Projektionen tragen (Abb. 14). Gegenüber dem Epithel des absteigenden dünnen Teils der Henleschen Schleife zeigen die basalen Flächen eine zunehmende basale Faltung.



Abb. 13: Dünner Teil der Henleschen Schleife im inneren Mark
Übergang von Typ I zu Typ II

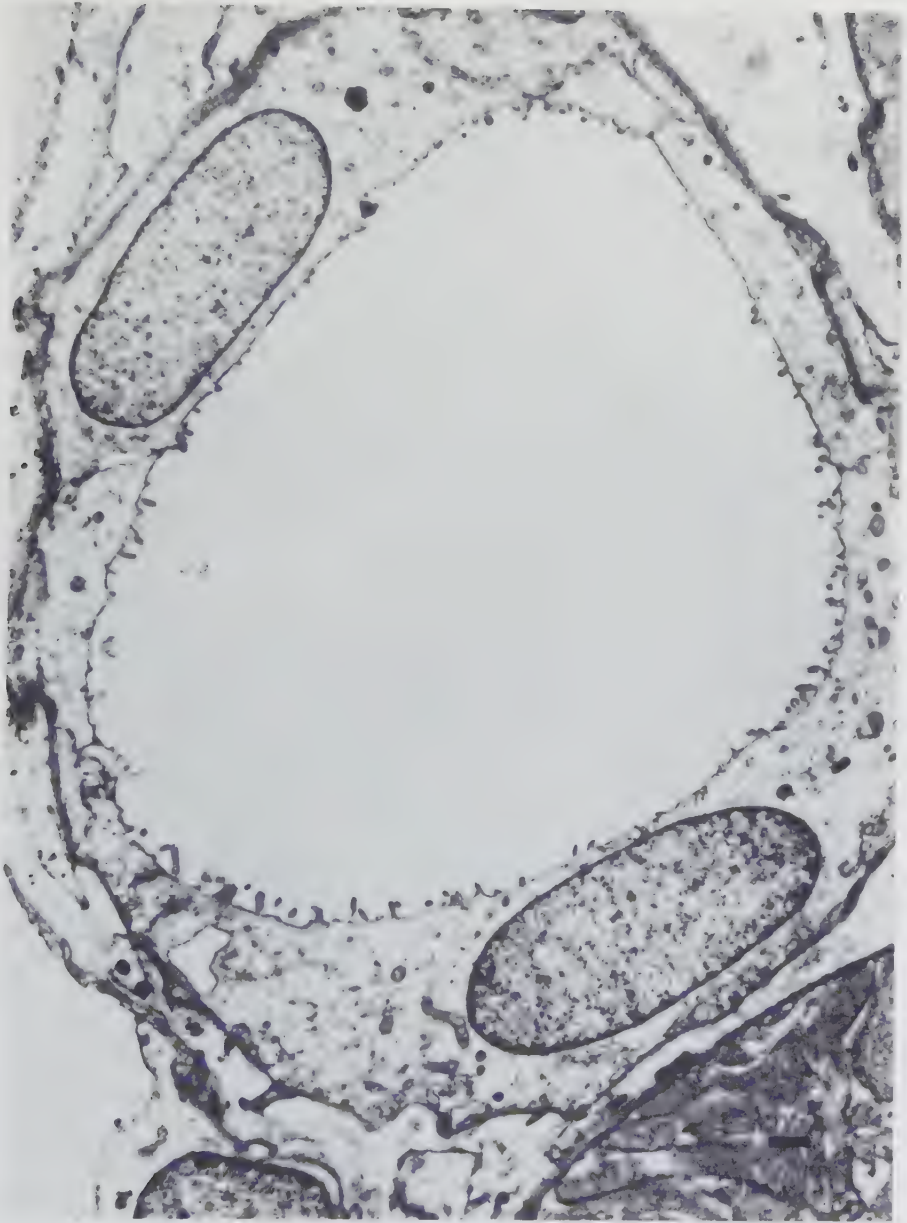


Abb. 14: Epithel aus dem inneren Mark
Übergangsbereich vom dünnen absteigenden zum
dicken aufsteigenden Teil der Henleschen Schleife

Der Kern ist, je nach Zellhöhe, abgeflacht oder rund. Die Anzahl der Mitochondrien hat zugenommen, sie erscheinen elektronenoptisch hell mit einer Crista-Struktur. Einzelne kleine Lysosomen verteilen sich im Zytoplasma. Rauhes endoplasmatisches Retikulum und Polyribosomen sind häufig zu beobachten. Subplasmalemmal liegen zahlreiche kleine, membranbegrenzte Vesikel und Mikrotubuli, die Zellen werden von einer dünnen Basalmembran unterlagert.

Die in den Abbildungen 15a und 15b dargestellten Zellen (*) werden mit dem aufsteigenden dicken Teil der Henleschen Schleife beschrieben.

4. 3. Distaler Tubulus

4. 3. 1. Aufsteigender dicker Teil der Henleschen Schleife

Der Übergang vom dünnen Teil zum aufsteigenden dicken Teil der Henleschen Schleife vollzieht sich allmählich. Das Epithel gewinnt dabei an Höhe, der Kern rundet sich ab und nimmt eine apikale Position ein. Ebenso steigt die Anzahl und Größe der Mitochondrien, an der Epithelbasis entwickelt sich eine auffällige basale Faltung.

Im inneren Markbereich, im Bereich des Übergangs vom dünnen

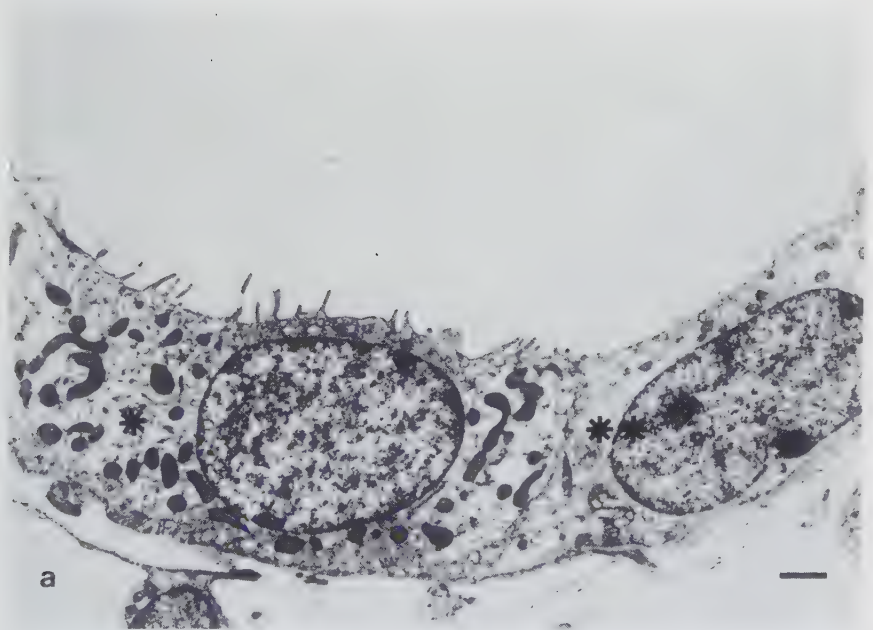


Abb. 15a: Epithelzellen aus dem inneren Mark
Übergangsbereich vom dünnen zum dicken
aufsteigenden Teil der Henleschen Schleife
* Sonderform einer Epithelzelle
** Epithelzelle

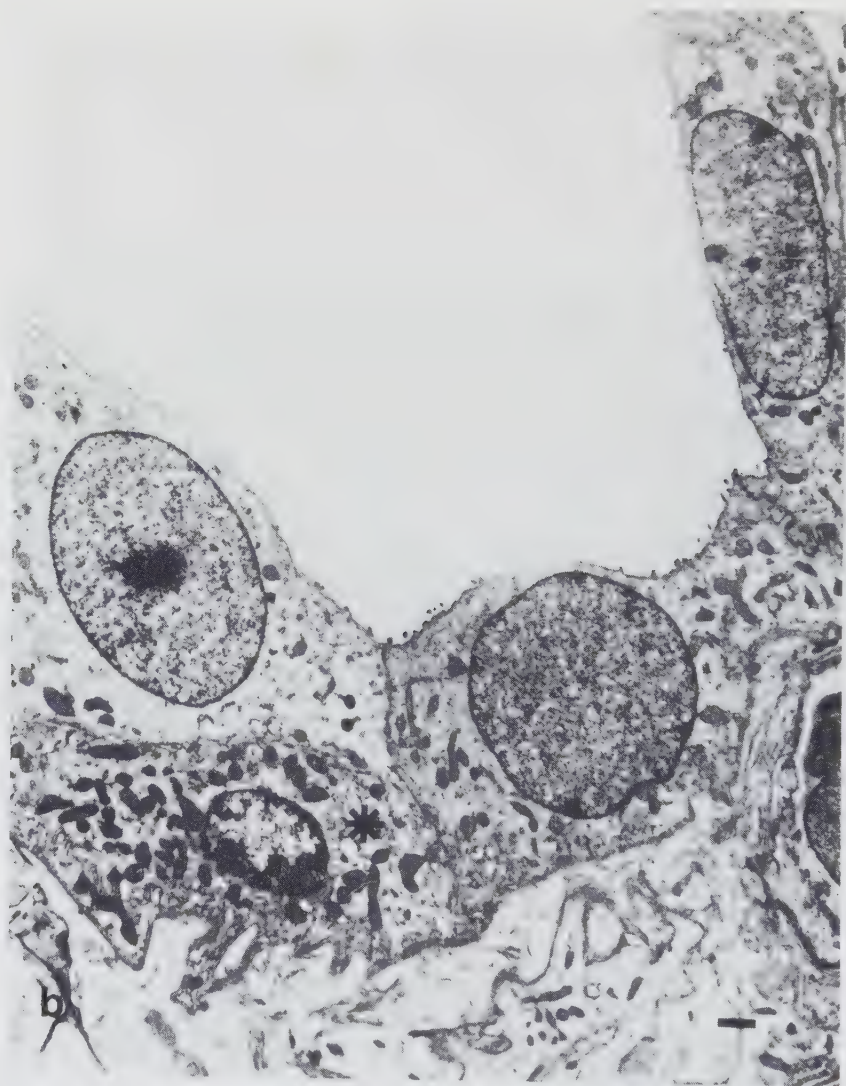


Abb. 15b: Epithelzellen aus dem inneren Mark
Übergangsbereich vom dünnen zum dicken
aufsteigenden Teil der Henleschen Schleife
Flachschnitt
* Sonderform einer Epithelzelle

zum dicken Teil der Henleschen Schleife, wird ein Zelltyp beobachtet, der sich stark von den Nachbarzellen abhebt (Abb. 15a, 15b, *). Er zeigt auf seiner Oberfläche Projektionen bis zu $0,7\text{ }\mu\text{m}$ Länge, die einzeln angeordnet sind. Im basalen Zellbereich treten dichte Faltungen auf, die sich auf das basale Zehntel der Zelle beschränken. Der Kern erscheint größer als in den Nachbarzellen und ist fast rund. Er hat ein dunkles Heterochromatin, das sich gleichmäßig über den ganzen Kern verteilt; das Zytoplasma ist dichter. Die Mitochondrien sind größer, zahlreicher und ebenfalls verdichtet.

Der gerade medulläre Teil des Distalen Tubulus ist von einem iso- bis hochprismatischen Epithel von durchschnittlich $10\text{ }\mu\text{m}$ Höhe ausgekleidet (Abb. 16). Die Zellen wölben sich leicht in das Tubuluslumen vor und haben eine glatte Oberfläche. Apikal des Kerns treten, in einer mitochondrienfreien Zytoplasmazone, eine Vielzahl tubulo-vesikulärer Einschlüsse (T und V) auf. Diese sind häufig elektronenoptisch dicht, sie legen sich den Vakuolen des Golgi-Feldes (G) an. Zwischen diesen membranbegrenzten Vesikeln liegen in diffuser Anordnung kurze Schläuche des rauen endoplasmatischen Retikulums, begleitet von Polyribosomen. Die Dicke der Basalmembran (Bm) beträgt $0,1 - 0,2\text{ }\mu\text{m}$.

Der Kern (N) ist rund und liegt in einer apikalen Position. Hetero- und Euchromatin verteilen sich gleichmäßig. Ausge-

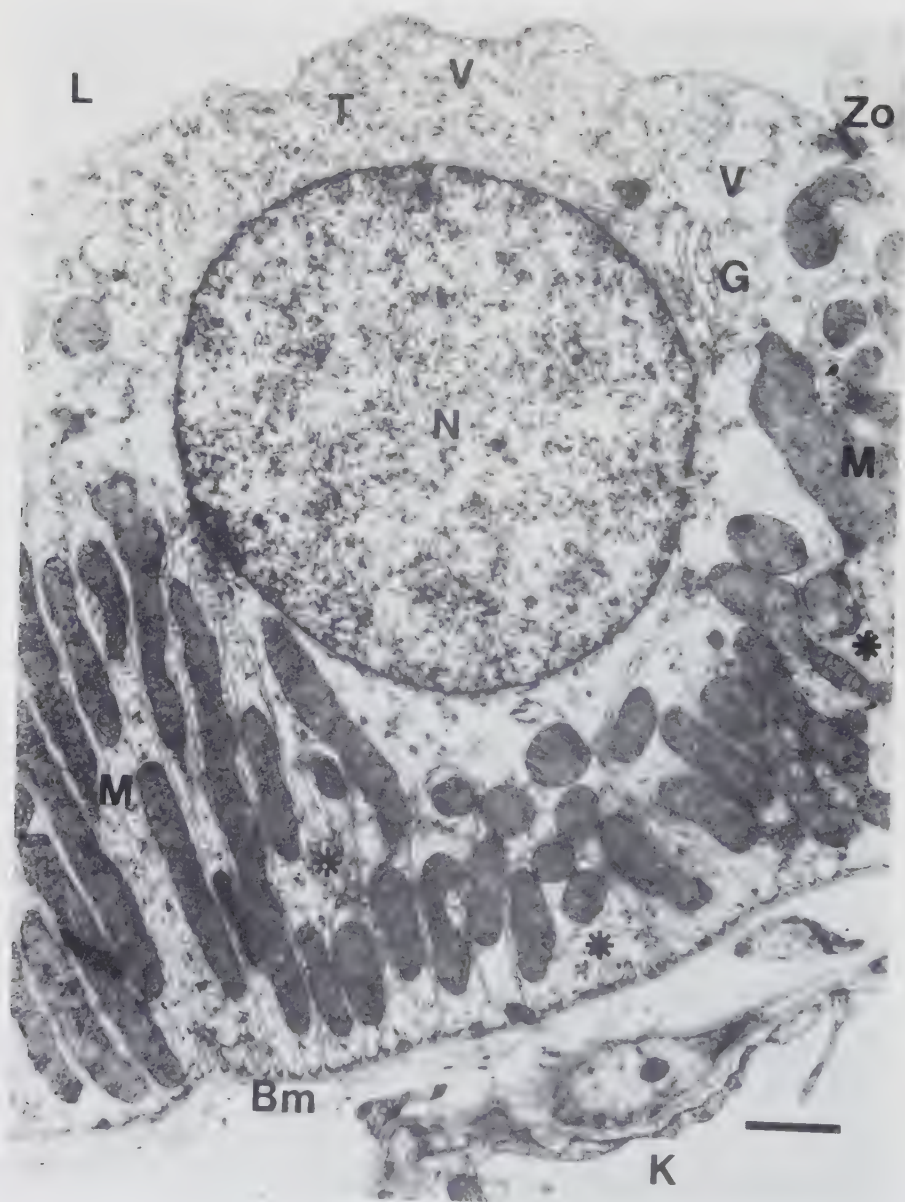


Abb. 16: Epithelzelle aus dem medullären Teil des
dicken aufsteigenden Teils der Henleschen Schleife

prägte basale Falten reichen bis fast an den Kern heran und erstrecken sich im paranukleären Bereich über zwei Drittel der Zellhöhe. Sie sind parallel in apiko-basaler Richtung angeordnet. Die Membranen der Falten liegen den benachbarten Mitochondrien dicht an. In jeder Faltung können ein bis zwei Mitochondrien auftreten, sie sind teilweise langgestreckt, reichen über die halbe Zellhöhe und schließen häufig mitochondriale Granula ein.

Im inneren und äußeren Mark tritt, zusätzlich zu dem beschriebenen Zelltyp (Abb. 16), eine weitere Epithelform auf, die strukturell ähnliche Merkmale aufweist. Diese Zellform scheint mit der erstgenannten nicht identisch zu sein. Ihre strukturellen Kriterien erlauben, eine zytologische Eigenständigkeit anzunehmen (Abb. 17).

Gemeinsam ist beiden Epithelien die iso- bis hochprismatische Erscheinung und die glatte, in das Lumen vorgewölbte Oberfläche. Auch ein großer, runder, apikal liegender Kern kennzeichnet beide Zellformen. Sie unterscheiden sich in der Verteilung des Chromatins.

Das Heterochromatin (Abb. 17) neigt zu größeren Kondensationen, die unregelmäßig im Kern verteilt liegen. Auch im Zytoplasma wechseln dichtere mit helleren Bezirken ab. Die basale Faltung (Abb. 16 und 17, *) sowie Größe und Lage der Mitochondrien (M)

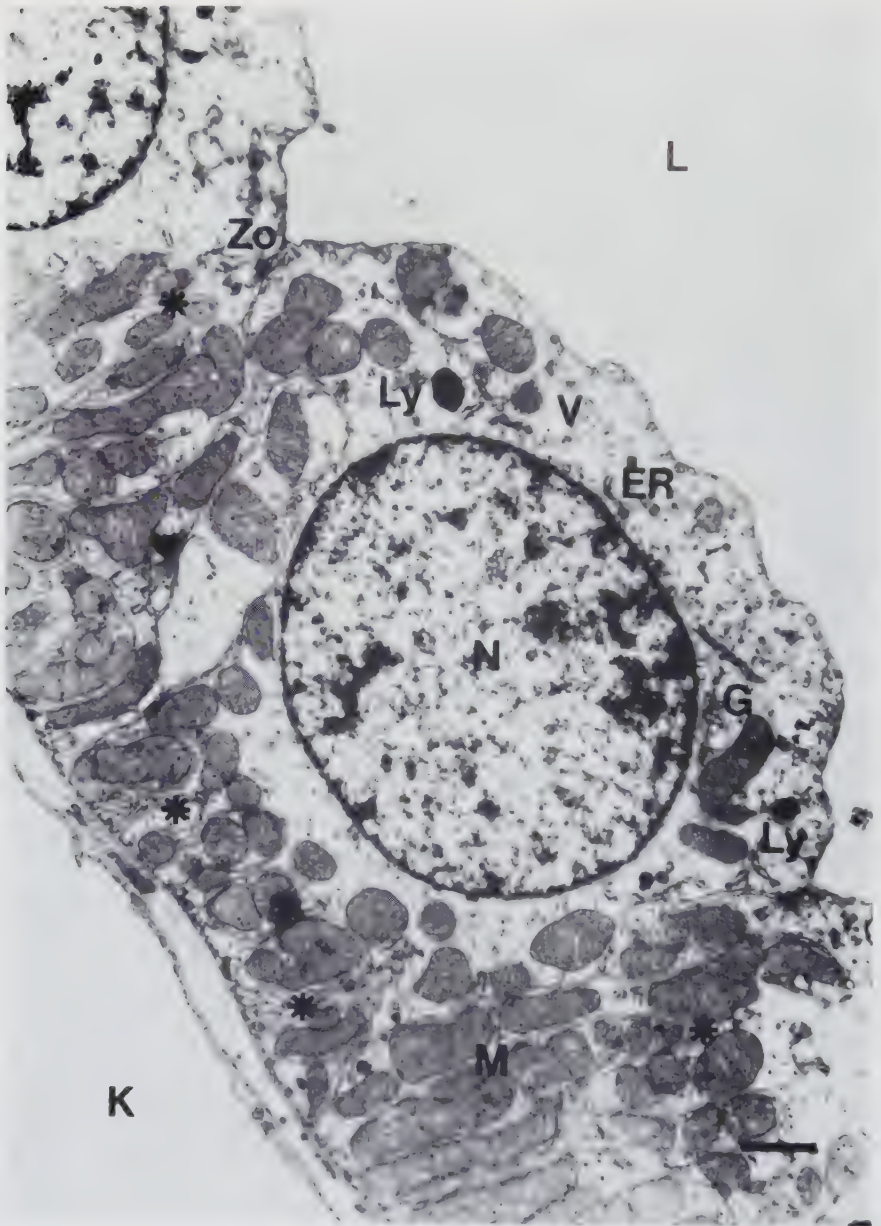


Abb. 17: Epithelzelle aus dem inneren Mark, dem dicken aufsteigenden Teil der Henleschen Schleife zugeordnet

entsprechen sich in beiden Epithelien, die Dichte der Mitochondrien weicht jedoch voneinander ab. Sie besitzen eine hellere Matrix (Abb. 17, M) und zeigen sich deutlicher strukturiert. Der apikale Zytoplasmasaum schließt auffallend dichte Lysosomen (Ly) ein. Neben diesen membranbegrenzten Organellen treten elektronenoptisch helle, vakuoläre Einschlüsse (V) auf. Subplasmalemmal häufen sich kurze Schläuche eines rauhen endoplasmatischen Retikulums (ER) neben kleinvesikulären Einlagerungen. Die zytoplasmatische Grundsubstanz stellt sich in diesem Zellbereich auffallend hell dar, feinfibrilläre Verdichtungen sind darin vermehrt mit Polyribosomen versetzt.

Im Verlauf des geraden medullären Teils des Distalen Tubulus zu seinem kortikalen Abschnitt reduziert sich die Höhe des Epithels auf weniger als die Hälfte (auf ca. 4 - 5 μ m) (Abb. 18). Auf seiner Oberfläche können mehr oder weniger kurze Projektionen erscheinen. Der Kern paßt sich der verringerten Zellhöhe an und wird scheibenförmig. Er zeigt Kondensationen von Heterochromatin, die gleichmäßig über den Kern verteilt sind.

Die basale Faltung ist unregelmäßig in ihrer Anordnung, sie reicht stellenweise bis dicht unter die apikale Zelloberfläche. Die Anzahl der Mitochondrien ist erhöht, ihre Größe reduziert; sie füllen in unregelmäßiger Anordnung das gesamte Zytoplasma aus. In diffuser Verteilung, jedoch geringer

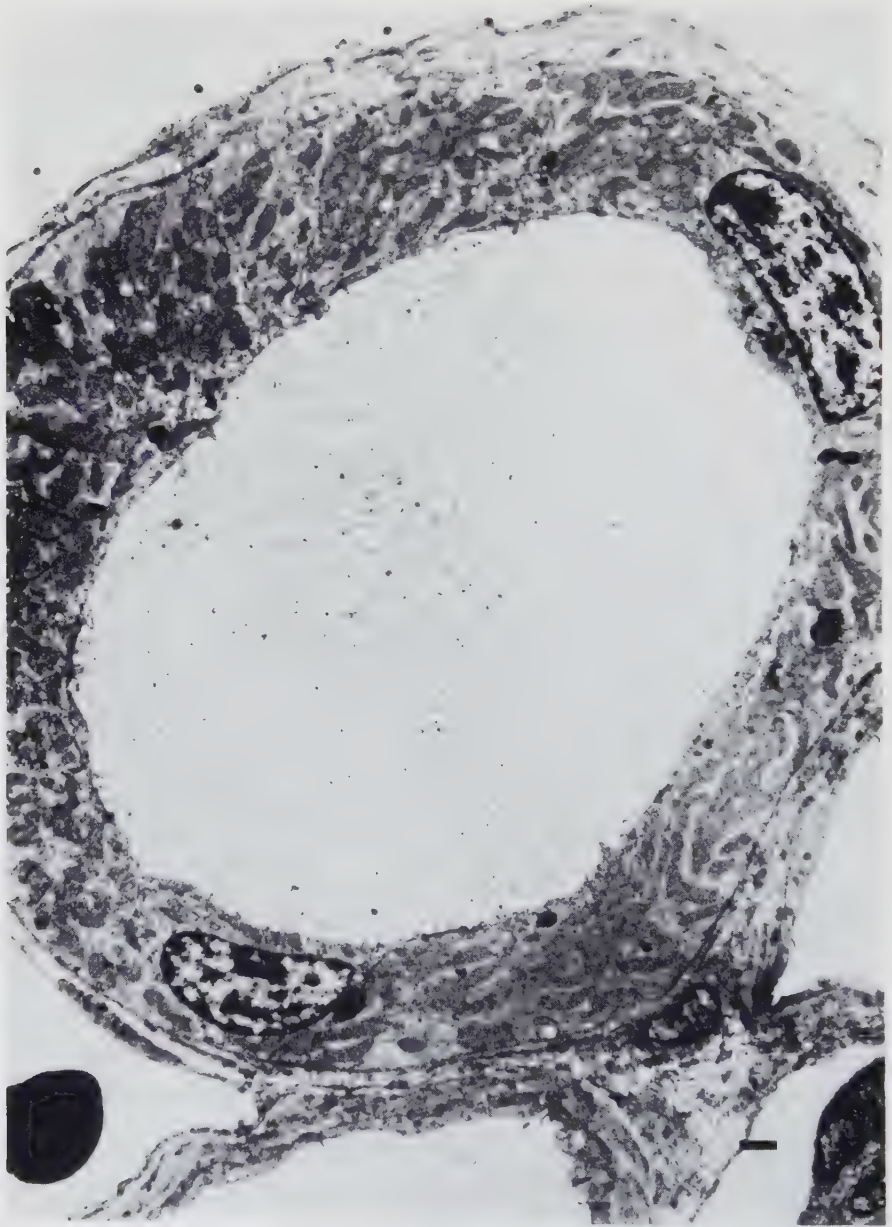


Abb. 18: Epithel aus dem kortikalen Teil des aufsteigenden
dicken Teils der Henleschen Schleife

geringer Zahl schließen diese Zellen auffallend dichte Lyso-somen ein. Unter dem luminalen Plasmalemm treten in dünner Lage feinvakuoläre Vesikel und englumige Tubuli auf.

4. 3. 2. Macula densa

Die Macula densa ist ein kurzer Abschnitt des geraden korti-kalen Anteils des Distalen Tubulus in Kontakt zum Glomerulum. Die Macula densa-Zellen bilden die Auskleidung des Tubulus nur auf der dem Glomerulum anliegenden Seite. Sie heben sich deutlich von den Zellen des umgebenden Epithels ab und überragen sie um das Doppelte (Abb. 19, ➡). Sie besitzen zahlreiche kurze, kräftige Projektionen (Abb. 21, ➡) auf ihrer luminalen Oberfläche, die von einer einzelnen Zilie (➡) in der Zellmitte überragt werden (Abb. 19, 20, ➡).

Die Basalfläche der Zellen zeigt zahlreiche unregelmäßige Faltungen (*), die über die halbe Zellhöhe reichen (Abb. 21). Teils in den Faltungen, teils frei im Zytoplasma liegt eine große Zahl zufällig orientierter Mitochondrien (M), die kleiner als die des umgebenden Epithels sind.

Ein großer, ovaler bis runder Kern liegt in der Zellmitte. Der Kernmembran liegen innen unterschiedlich dichte Kondensationen von Heterochromatin an. Ein exzentrisch liegender Nukleolus ist vorhanden.

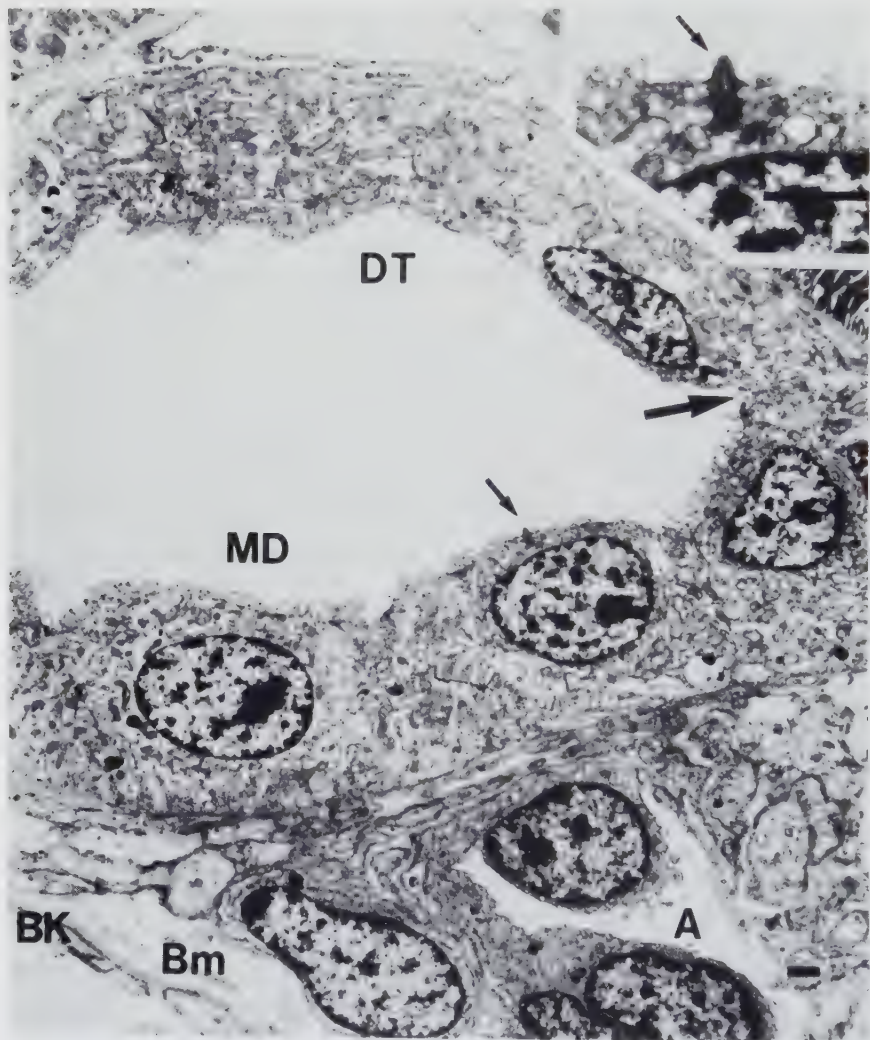


Abb. 19: Macula densa

Abb. 20: Ausschnitt aus Abb. 19

Zilie auf einer Zelle der Macula densa

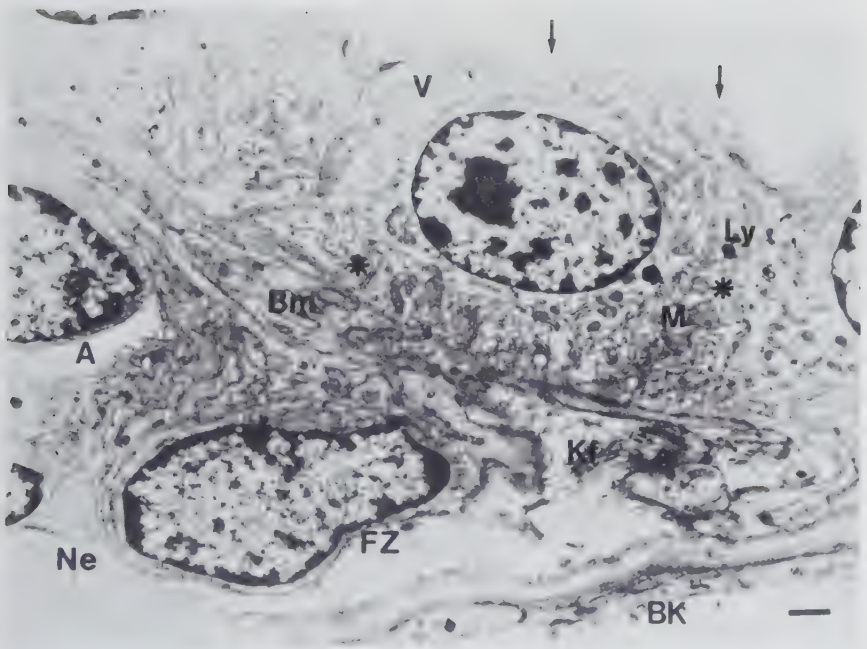


Abb. 21: Ausschnitt aus Abb. 19

Zelle der Macula densa

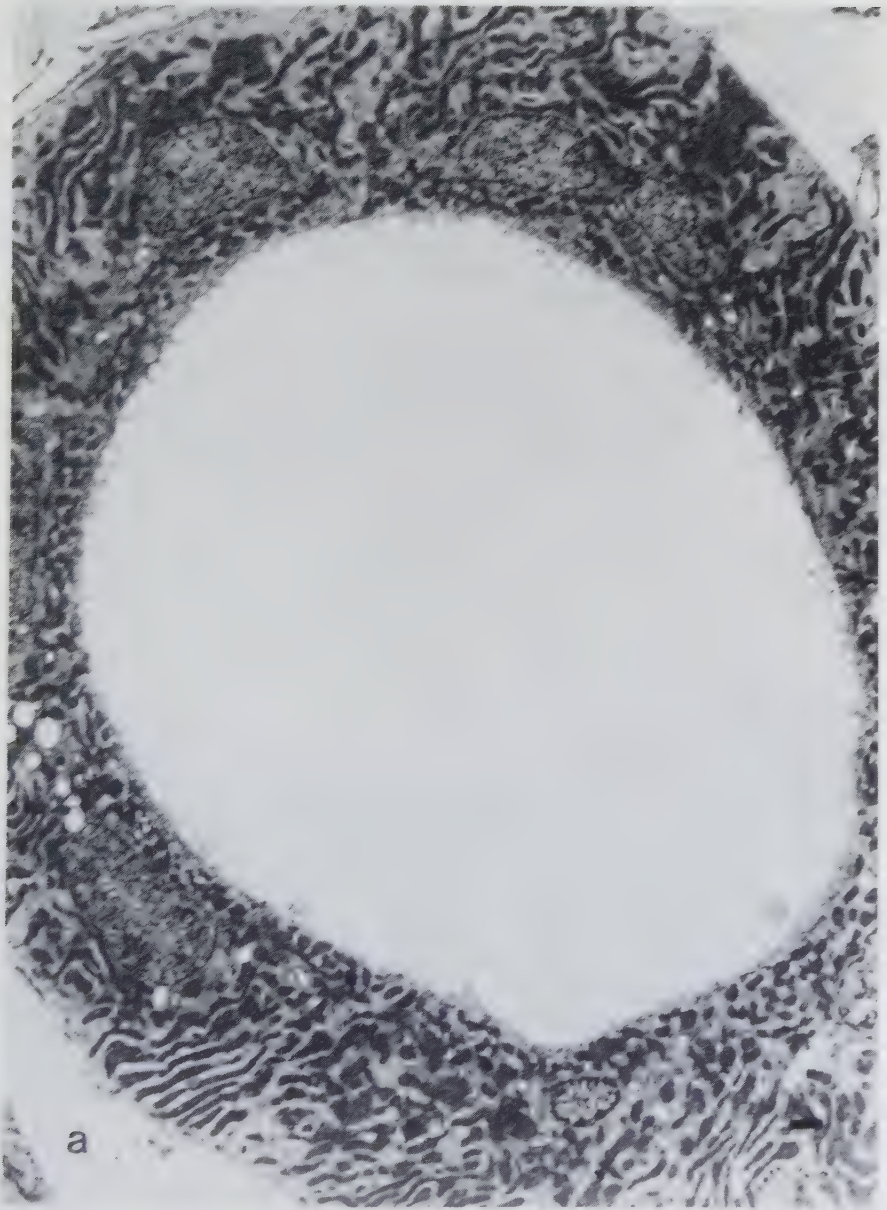
Stellenweise können Lysosomen (Ly) eingelagert sein, sub-plasmalemmal treten an der freien Epitheloberfläche zahlreiche kleine membranbegrenzte Vesikel (V) auf, die sich in tieferen Zytoplasmabereichen bis in die basale Einfaltung fortsetzen.

Die Basalmembran (Em) setzt sich mit ihren inneren Anteilen tief in die fingerförmigen Epitheleinstülpungen fort, nach außen bleibt die Lage dieser Grenzmembran als kontinuierliche, gestreckte Schicht erhalten.

4. 3. 3. Distales Konvolut

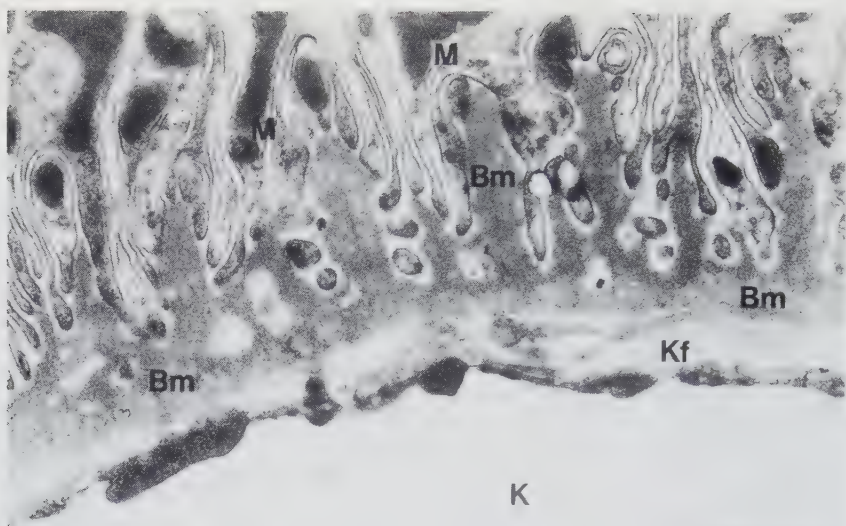
Wenige Zellen distal der Macula densa geht der gerade Teil des Distalen Tubulus ohne Übergang in die Pars convoluta über. Das flache Epithel wird wieder iso- bis hochprismatisch mit einer Zellhöhe von 6 - 7 μm (Abb. 22a). Die Zellen zeigen starke basale Faltungen (Abb. 22b), die bis dicht unter die luminale Oberfläche reichen können (Abb. 22c). Auffallend bei diesem Zelltyp ist die tiefgreifende Verzahnung der Basalmembran mit den oberflächenvergrößernden Fortsätzen dieser Zellen. Diese Ausstülpungen der Basallamina sind regelmäßig gestaltet und gleichmäßig verteilt (Abb. 22b).

Die Faltungen sind bis in die Nähe ihrer fingerförmigen Endigungen von Mitochondrien ausgefüllt, die teilweise

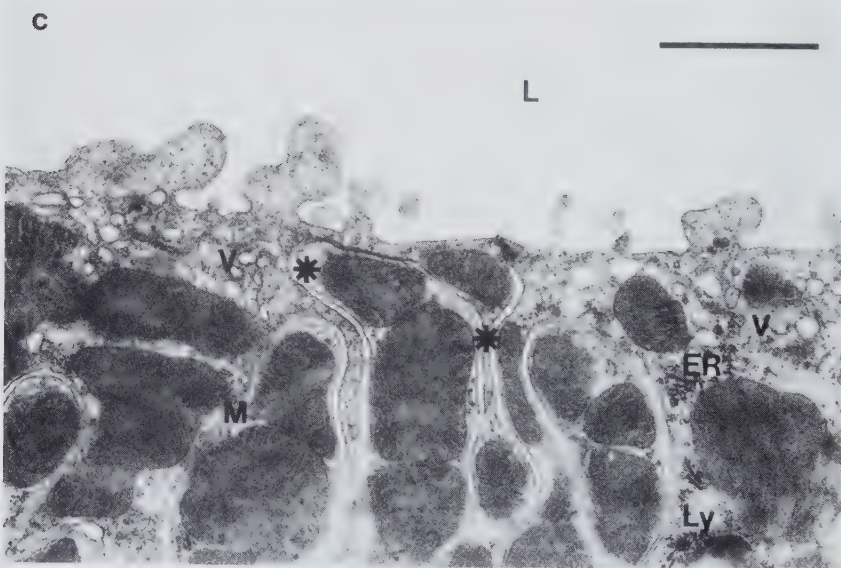


a

Abb. 22a: Epithel des Distalen Konvoluts



b



c

Abb. 22b: Ausschnitt aus Abb. 22a
Basalzone des Epithels

Abb. 22c: Ausschnitt aus Abb. 22a
Apikalzone des Epithels

langgestreckt in baso-apikaler Ausrichtung, teilweise unge-
richtet liegen. Apikal des Kerns verteilen sich zahlreiche
kleinere Mitochondrien ungeordnet im Zytoplasma. Sie haben
eine auffallend dichte Matrix und dunkle Cristae. Intra-
mitochondriale Granula erscheinen häufig (Abb. 22b, 22c).
Die Kerne liegen in der apikalen Zellhälfte, sie sind abge-
flacht und zeigen eine gleichmäßige Hetero- und Euchromatin-
verteilung.

Im Zytoplasma kann eine verschieden große Anzahl von Fett-
tröpfchen und Lysosomen (Ly) beobachtet werden. Die luminale
freie Oberfläche dieser Zellen trägt kurze fingerförmige,
knospenförmige und kuppenförmige Ausstülpungen (Abb. 22a,
22c). Subplasmalemmal treten vermehrt kleinvesikuläre Ein-
schlüsse auf, die oftmals mit granulärem Material gefüllt
sind (Abb. 22c).

Mitochondrien reichen in den terminalen Enden der basalen
Einfaltungen bis nahe an die freie Oberfläche (Abb. 22c,*).
In unmittelbarer Nähe treten freie Polyribosomen und kurze
Schläuche eines rauen endoplasmatischen Retikulums auf.

4. 4. Sammelrohrsystem

4. 4. 1. Verbindungsstück

Nach dem Distalen Tubulus beginnt das Sammelrohrsystem mit dem Verbindungsstück, das sich deutlich vom Epithel des Distalen Tubulus absetzt (Abb. 23). Das Epithel des Verbindungsstücks ist flach bis isoprismatisch und setzt sich aus drei Zelltypen zusammen (Abb. 24a, 24b), die sich in der Dichte ihres Zytoplasmas unterscheiden. Es kann eine "helle" Zelle, eine "graue" Zelle und eine "dunkle" Zelle beobachtet werden (Abb. 24a, 24b I,HZ; II,GZ; III,DZ).

Die "helle" Zelle weist eine glatte Oberfläche auf, sie trägt eine Zilie (Abb. 23, 24a, Z). Basal ist eine schwache Faltung ausgebildet, die zum lateralen Zellrand hin abnimmt. Der Kern ist relativ groß und oval bis rund geformt. Er schließt wenig Heterochromatin ein, das sich vornehmlich entlang der Kernmembran anordnet. Das Zytoplasma erscheint elektronenoptisch "leer". Es beinhaltet wenige kleine Mitochondrien, die deutliche Cristae einschließen. Oberflächlich treten Mikrovesikel auf.

Die "graue" Zelle wird durch zahlreiche kurze Projektionen auf ihrer luminalen Oberfläche gekennzeichnet (Abb. 24a, 24b). Die Basalfläche zeigt nur vereinzelte gewundene Plasmalemm-

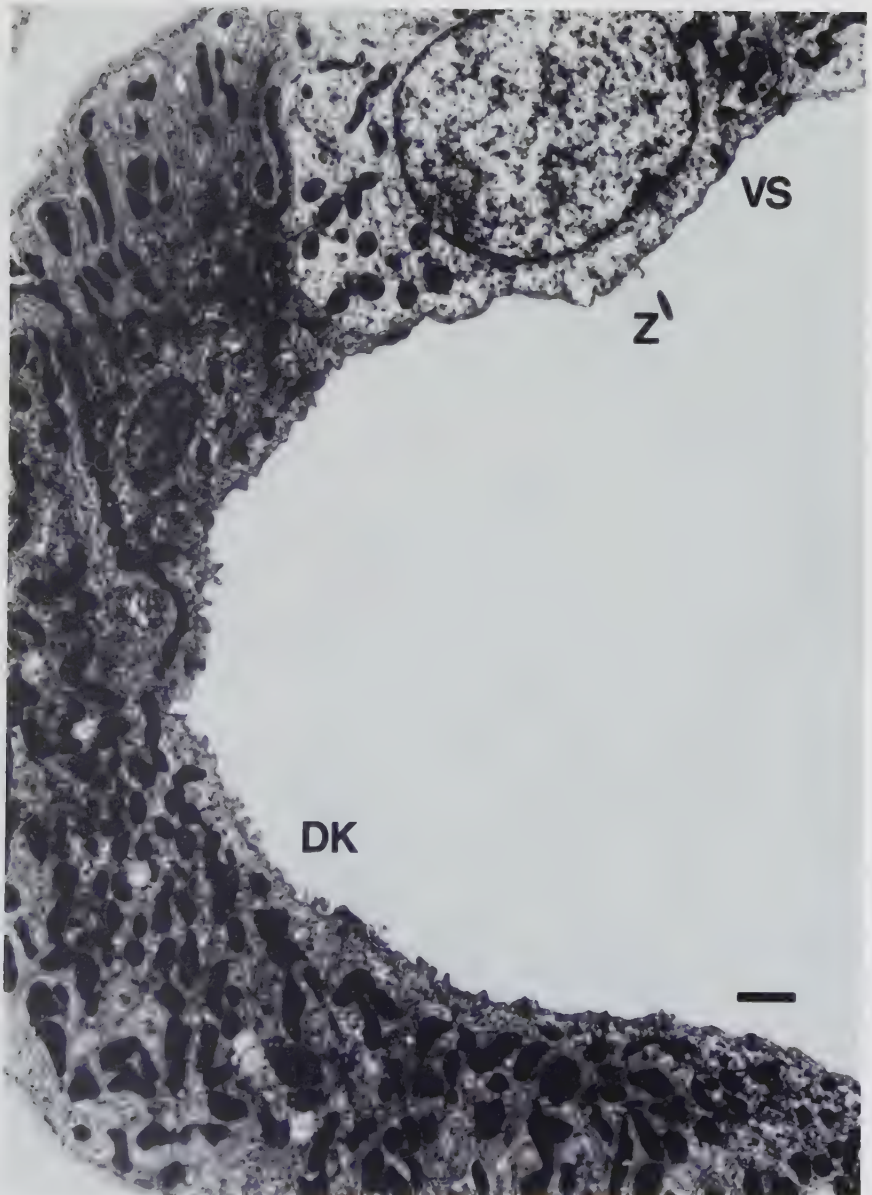


Abb. 23: Übergang vom Distalen Konvolut zum Verbindungsstück

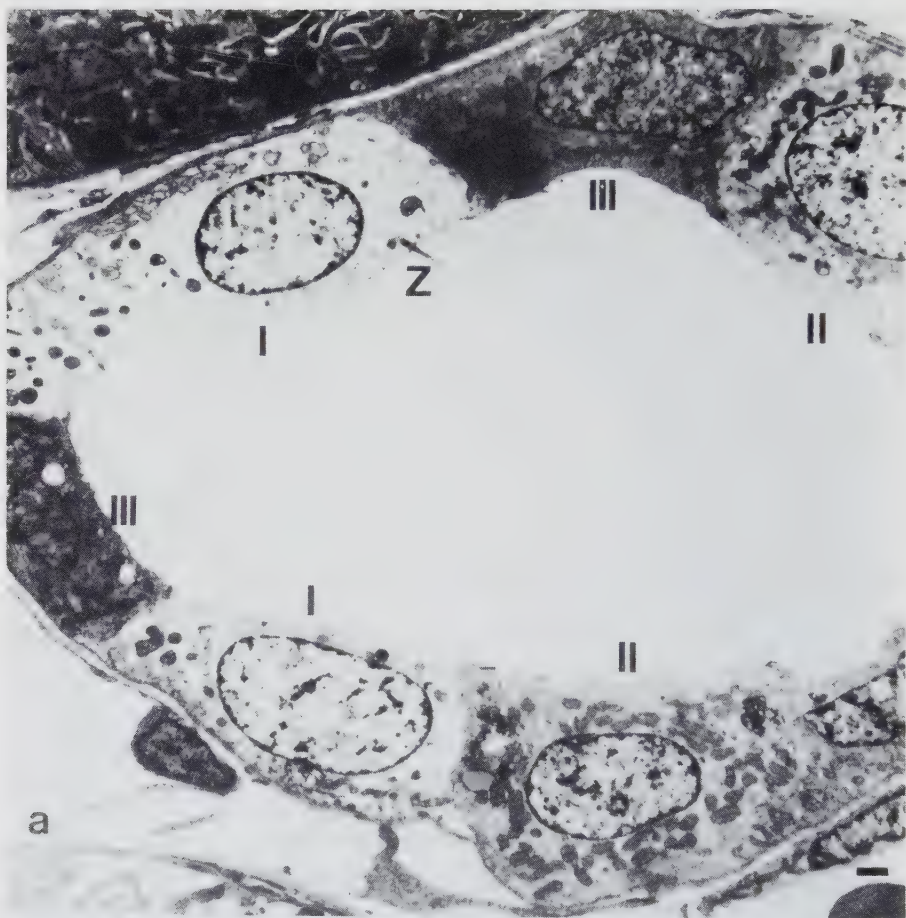


Abb. 24a: Epithel des Verbindungsstücks

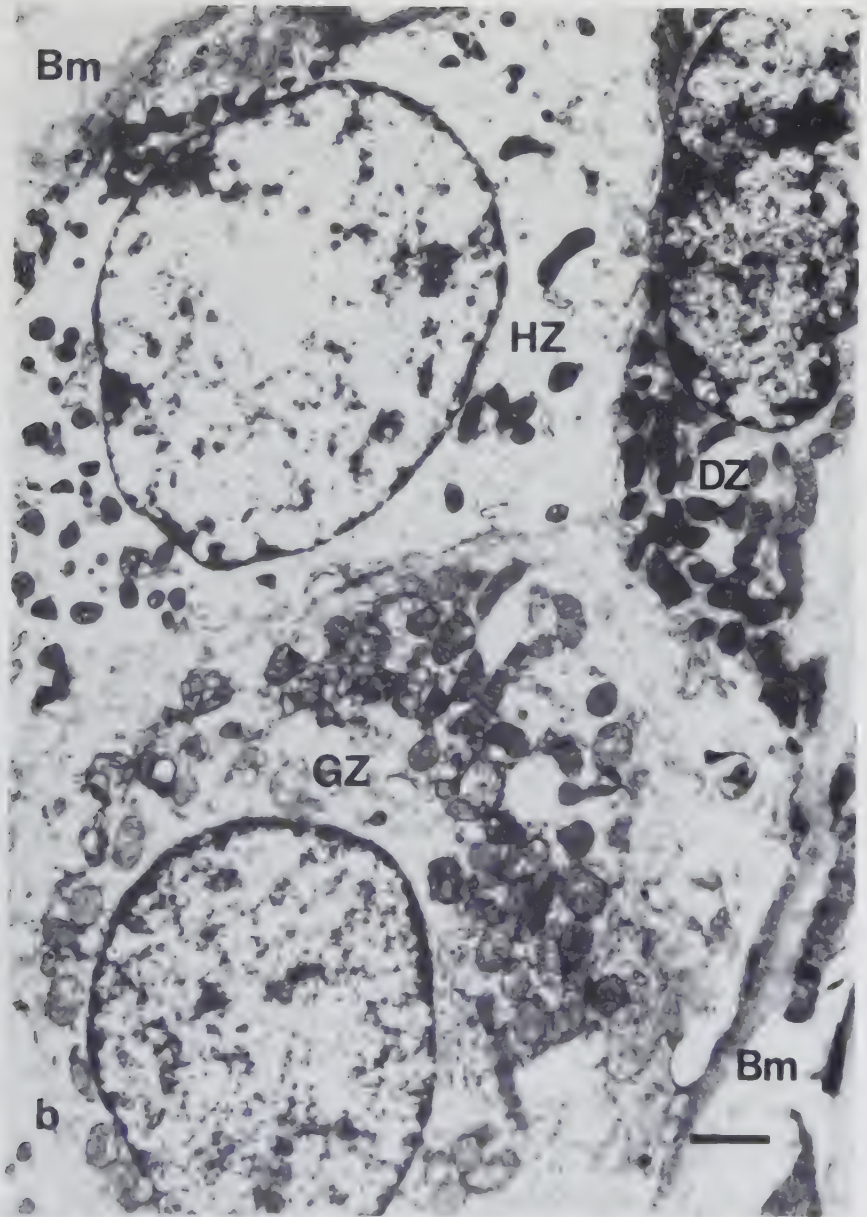


Abb. 24b: Epithel des Verbindungsstücks
Flachschnitt

einfaltungen. Der annähernd runde Kern liegt in der Zellmitte, eine dünne Heterochromatinschicht zieht sich entlang der Kernmembran, Heterochromatinverdichtungen verteilen sich diffus über den Kern. Im elektronenoptisch dicht erscheinenden Zytoplasma ordnen sich große Mitochondrien vom Crista-Typ bevorzugt im Zentralbereich der Zelle an. Makrovesikuläre und mikrotubuläre Einschlüsse liegen ebenso über die ganze Zellgrundsubstanz verstreut wie ein rauhes endoplasmatisches Retikulum.

Die "dunkle" Zelle wird ebenfalls durch kurze Projektionen auf ihrer Oberfläche charakterisiert, die von einer Zilie überragt werden können (Abb. 24c, Z). Basal tritt eine kurze, ausgeprägte unregelmäßige Faltung auf. Der Kern ist abgeflacht und hat einen dichten Saum von Hetrochromatin entlang der Kernmembran. Ein Nukleolus kann vorhanden sein. Das Zytoplasma ist elektronenoptisch auffallend dicht und schließt zahlreiche kleine Mitochondrien ein, die intramitochondrale Granula tragen können. Im apikalen Zellsaum häufen sich große und kleine vesikuläre Einlagerungen, perinukleär liegen Schläuche eines rauhen endoplasmatischen Retikulums und Polyribosomen. Einige Lysosomen orientieren sich frei in der Zellgrundsubstanz (Abb. 24a, 24b, 24c).

Eine "Intermediärzelle" lagert sich gelegentlich zwischen die drei beschriebenen Zelltypen (Abb. 25, IZ). Neben zahlreichen

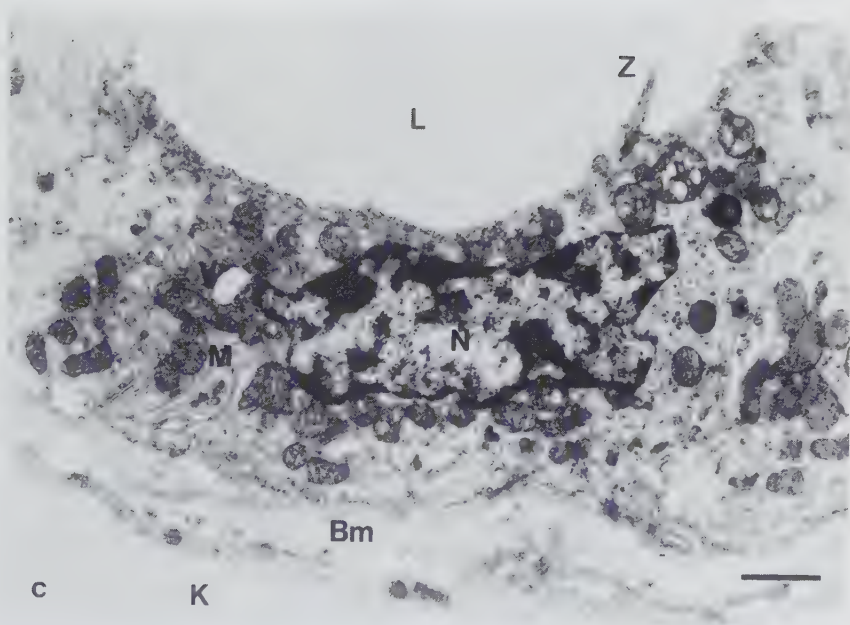


Abb. 24c: Epithelzelle des Verbindungsstücks

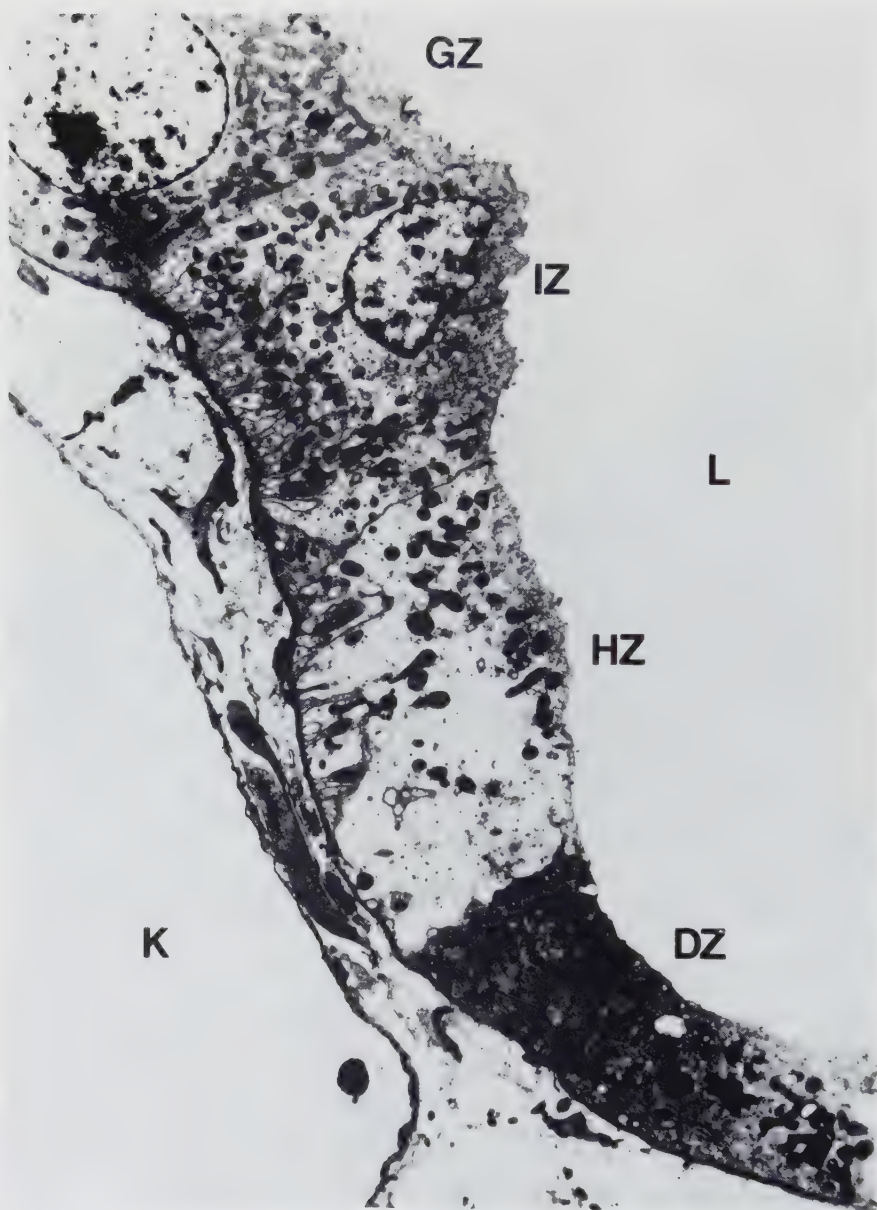


Abb. 25: Epithelausschnitt aus dem Verbindungsstück

kurzen Projektionen auf der luminalen Oberfläche tritt eine ausgeprägte basale Faltung auf. Die PlasmalemmEinstülpungen füllen mehr als das basale Zelldrittel, sind parallel zueinander angeordnet und können einzelne Mitochondrien einschließen. Der Kern nimmt apikal der Falten eine luminal orientierte Position ein. Heterochromatinverdichtungen lagern sich an die Kernmembran an. Im locker strukturierten Euchromatin können sich Heterochromatinkondensationen bilden, die sich unregelmäßig verteilen. Kleine Mitochondrien orientieren sich bevorzugt in kernfernen Regionen. Subplasmalemmal reichern sich mikrotubuläre und mikrovesikuläre Bildungen sowie rauhes endoplasmatisches Retikulum und Polyribosomen an. Golgi-Felder liegen perinukleär.

4. 4. 2. Sammelrohr

Das kortikale Sammelrohr schließt sich an das Verbindungsstück im Verlauf zur Papille an (Abb. 26a). Es ist mit einem iso- bis hochprismatischen Epithel ausgekleidet, das aus zwei Zelltypen besteht: einer "hellen" Zelle, die aufgrund zahlreicher struktureller Kriterien der "hellen" Zelle des Verbindungsstücks gleicht (Abb. 26a) und einer "dunklen" Zelle, die seltener zu beobachten ist (Abb. 26b).

Die "hellen" Zellen tragen auf ihrer Oberfläche kurze, unregelmäßige Mikrovilli und eine einzelne Zilie. Sie haben eine spärliche basale Faltung (*), die zur lateralen Zell-

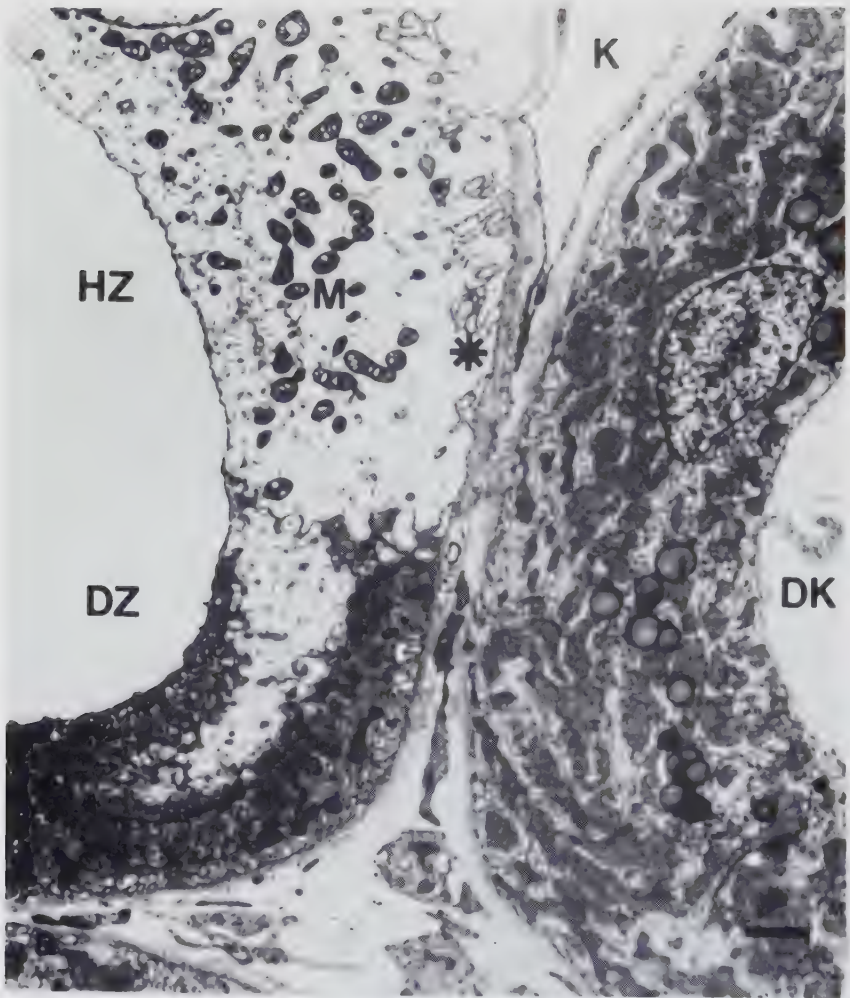


Abb. 26a: Epithelausschnitt aus dem kortikalen Sammelrohr

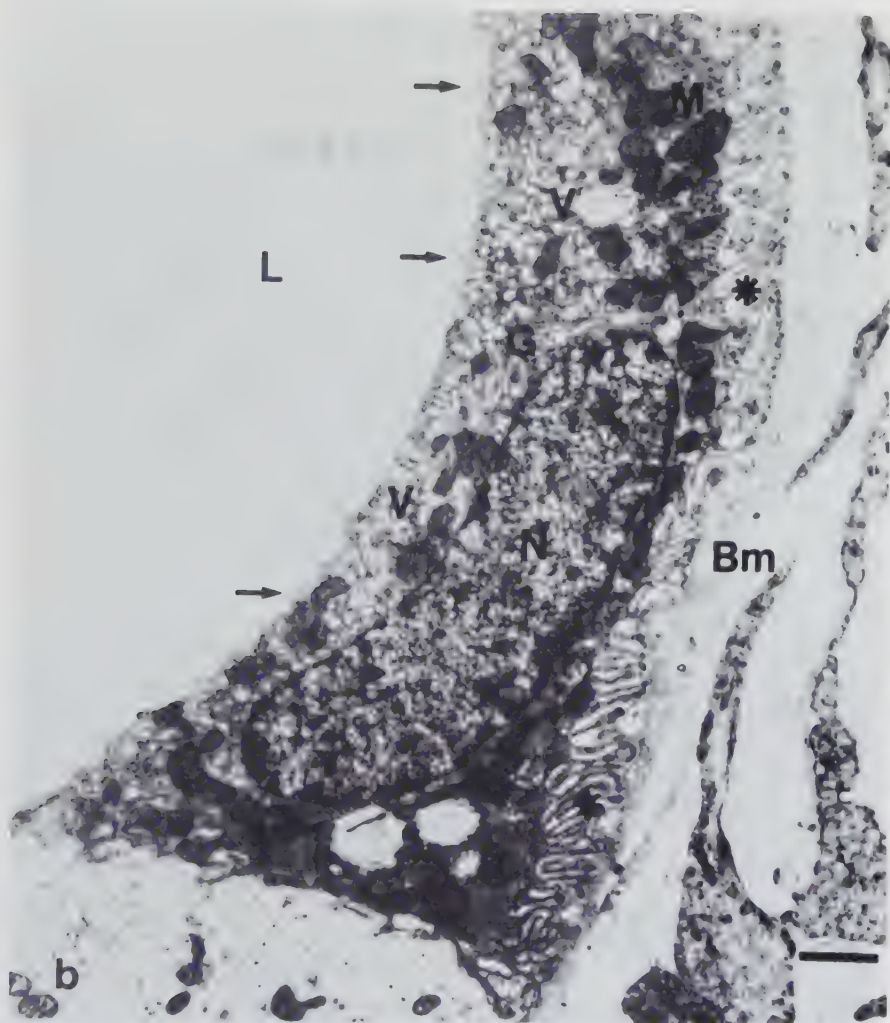


Abb. 26b: Epithelzelle aus dem kortikalen Sammelrohr

grenze hin abnimmt. Zentral in der Zelle liegt ein großer, runder Kern, der entlang der Kernmembran einen dichten Saum von Heterochromatin aufweist. Im Kern sind Kondensationen von Heterochromatin gleichmäßig verteilt. Im elektronenoptisch hellen Zytoplasma liegen kleine Mitochondrien (M), die eine deutliche Crista-Struktur kennzeichnet (Abb. 26a).

Die "dunkle" Zelle besitzt eine niedrigere Zellhöhe (4 μm) (Abb. 26b), sie trägt kurze Projektionen ($\rightarrow$) auf ihrer luminalen Oberfläche. Kurze Falten sind regelmäßig über die Zellbasis (*) verteilt. Der abgeflachte Kern liegt basal. Im dichten Zytoplasma sind größere und dunklere Mitochondrien (M) reichlich vorhanden. Sie sind ungeordnet über die Zelle verteilt und weisen eine deutliche Crista-Struktur auf. Im subplasmalemmalen Zytoplasmabereich liegt eine Vielzahl kleiner, membranbegrenzter vesikulärer Strukturen, die diesen Zellraum fast gänzlich ausfüllen (V). Perinukleär liegen größere elektronenoptisch leer erscheinende Vakuolen, die ausgeprägten Golgi-Feldern (G) benachbart sind. Kurze Schläuche rauhen endoplasmatischen Retikulums und dichte Polyribosomen schieben sich in großer Zahl zwischen die zytoplasmatischen Organellen.

Im inneren Mark findet sich ein Zellverband, dessen Zellhöhe in Richtung auf die Papille zunimmt. Er ist zunächst flach (6 - 8 μm) (Abb. 27a), später iso- bis hochlrismatisch



Abb. 27a: Sammelrohr in Papillennähe
Flaches Epithel



Abb. 27b: Sammelrohr in Papillennähe

Hohes Epithel

(10 - 12 μm) (Abb. 27b). Die Zelloberfläche wird von zahlreichen kurzen, kräftigen Projektionen gebildet. An der Zellbasis finden sich unregelmäßige, kurze Falten. Benachbarte Zellen sind durch enge Verzahnungen verbunden. Der Kern liegt im Zellzentrum. Kondensationen von Heterochromatin sind gleichmäßig über den Kern verteilt. Ein Nukleolus ist vorhanden. Im Zytoplasma liegen wenige kleine Mitochondrien und zahlreiche diffus verteilte Polyribosomen, die zytoplasmatische Grundsubstanz ist auffallend hell.

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

A	Arteriole	L	Lumen
BK	Bowmansche Kapsel	Ly	Lysosomen
Bm	Basalmembran	M	Mitochondrien
DK	Distales Konvolut	MD	Macula densa
DT	Distaler Tubulus	Mv	Mikrovilli
DZ	Dunkle Zelle	N	Kern
ER	Endoplasmatisches Retikulum	Nc	Nukleolus
Fv	Fettvakuole	Ne	Nerv
FZ	Fibrozyt	Sd	Semidesmosom
G	Golgi- Apparat	S4	Viertes Segment des
GZ	Graue Zelle		Proximalen Tubulus
HS	Henlesche Schleife	T	Tubuläres System
HZ	Helle Zelle	V	Vakuole
IZ	Intermediärzelle	VS	Verbindungsstück
IZR	Interzellularraum	Z	Zilie
K	Kapillare	Za	Zonula adhaerens
Kf	Kollagenfaser	Zo	Zonula occludens

Die in den Abbildungen auf der rechten Seite aufgetragene Linie entspricht einer Länge von 1µm.

5. DISKUSSION

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zur Morphologie der Niere des Hundes ergänzen frühere Erkenntnisse aus der Literatur, wonach bei den verschiedenen Säugetieren auch dieses Organ weitestgehend übereinstimmenden strukturellen Gesetzmäßigkeiten unterliegt. Trotzdem stellen sich bei genauer Betrachtung der Feinstruktur des Tubulus- bzw. des Sammelrohrsystems für den Hund tierartspezifische Besonderheiten dar.

Das Nierengewebe erweist sich unter dem Gesichtspunkt der histologischen Präparationstechnik als ein im höchsten Maße empfindliches Organ. Daher ist bereits bei der Proben-gewinnung zur nachfolgenden licht- und elektronenoptischen Untersuchung große Aufmerksamkeit angebracht. Die Zellen des Nephrons, speziell die des Proximalen Tubulus, reagieren sehr sensibel auf verschiedene Einflüsse, insbesondere im Verlauf der Fixation: Schon die kurzzeitige Unterbrechung der Mikrozirkulation, aber auch die geringste Änderung der Osmolarität und Zusammensetzung des Fixationsmediums oder des intravasalen Perfusionsdrucks ziehen irreparable Strukturschädigungen nach sich. Allein diese Problematik einer "organgerechten" Fixation, die eine artefaktfreie Präparation der Gewebeproben zum Ziele hat, war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (MAUNSBACH, 1964; KARNOVSKY, 1964;

MAUNSBACH, 1966; ANDREWS/ COFFEY, 1984). NIELSEN/ CHRISTENSEN (1983) verglichen die Ultrastruktur isoliert perfundierter Proximaler Tubuli mit der in vivo perfundierter Tubuli.

So zeigen auch die vorliegenden histologischen Schnittpräparate vom Hund, nach unterschiedlicher Vorbehandlung der Gewebeproben in differierenden Fixationsmedien, erhebliche Abweichungen in ihrem Strukturbild. Nach der Perfusionsfixation mit Medium 1 treten Veränderungen auf, die den von MAUNSBACH (1966) in seinen Untersuchungen an der Ratteniere beschriebenen gleichen: Als Folge einer hyperosmolaren Fixationslösung schrumpften auch in der Niere des Hundes die Zellen, das Zytoplasma und die Kerne erscheinen elektronenoptisch sehr dunkel, die Kerne erlangen eine unregelmäßige kleine Form. Schon im lichtmikroskopischen Bild kann die Erweiterung der Interzellularspalten festgestellt werden. Auch die Membranen der basalen Faltung weichen auseinander. Der Proximale Tubulus erweist sich als der auf Hyperosmolarität am empfindlichsten reagierende Tubulusabschnitt. Die Veränderungen im distalen Teil beschränken sich hauptsächlich auf eine geringgradige Erweiterung der basalen Faltung und eine mäßige Betonung der Interzellularräume. Ob die geringeren Fixationsartefakte in distalen Tubulusabschnitten auf eine größere Stabilität der Zellen oder auf eine in der Nephronpassage gesunkene Osmolarität zurückzuführen ist, kann nicht geklärt werden.

MAUNSBACH (1964, 1966) unterscheidet drei Segmente im Proximalen Tubulus der Rattenniere. KAISSLING/ KRIZ (1979) nehmen auch am Proximalen Tubulus der Kaninchenniere die Unterteilung in drei Abschnitte vor, ZIMMERMANN (1911) und FOOTE/ GRAFFLIN (1942) sehen zwei Segmente in diesem Bereich. BULGER et al. (1979) geben in ihrem "Überblick über die Morphologie der Hundeniere" eine Gliederung in vier Abschnitte.

Die an der Hundeniere beschriebenen Beobachtungen weisen eine weitestgehende Übereinstimmung hinsichtlich der Struktur der Segmente S 1 und S 2 mit denen bei der Ratte (MAUNSBACH, 1966) und beim Kaninchen (KAISSLING/ KRIZ, 1979) auf.

Erst von dem dritten Segment an zeigt die Hundeniere auffallende Abweichungen gegenüber den beiden anderen Spezies. Das dritte Segment der Rattenniere hat einen dichteren und höheren Bürstensaum als die beiden vorangegangenen Abschnitte und eine niedrigere Zellhöhe (MAUNSBACH, 1966), das der Kaninchenniere fällt ebenfalls in der Höhe gegenüber S 1 und S 2 ab und hat auch einen niedrigeren und spärlicheren Bürstensaum (KAISSLING/ KRIZ, 1979). Im entsprechenden Teil der Hundeniere differieren die Zellen sehr stark in der Höhe, der Bürstensaum ist der unregelmäßigste des gesamten Proximalen Tubulus.

Das massive Auftreten großer und kleiner Fetttröpfchen beherrscht das licht- und elektronenmikroskopische Bild des dritten Segments in der Hundeniere. Dieser Befund steht im Gegensatz zu den Ergebnissen am Proximalen Tubulus der Ratteniere, hier ist dieser Abschnitt frei von Fett (MAUNSBACH, 1966). Bei der Kaninchenniere treten nur vereinzelt Fetttröpfchen auf (KAISSLING/ KRIZ, 1979). Abweichend von den Darstellungen bei BULGER et al. (1979) erscheint das dritte Segment des Proximalen Tubulus auffallend uneinheitlich strukturiert. Die Tubulusepithelzellen erreichen beinahe die Höhe derer in S 2, die Höhe der Mikrovilli übersteigt die vom zweiten Abschnitt, zuweilen erweist sich dieses Epithel aber auch niedriger als im vierten Segment.

Die Beobachtung von BULGER et al. (1979), daß im vierten Abschnitt des Proximalen Tubulus der Hundeniere die apikale Oberfläche der Zellen in einem geringeren Ausmaß als in den vorangegangenen Anteilen mit Mikrovilli bedeckt seien, kann nicht bestätigt werden. Wie dokumentiert, weist auch S 4 eine erhebliche Bandbreite in seinen oberflächlichen Erscheinungsformen auf. Die Zellen können bis zum Übergang zur Henleschen Schleife einen dichten, hohen Bürstensaum tragen.

Im Gegensatz zu BULGER et al. (1979) konnten auch im vierten

Segment größere Ansammlungen von Fetttröpfchen beobachtet werden. Zu erwähnen sei aber auch, daß der Tubulus eines Hundes frei von intrazellulären fettigen Vakuolen bleibt.

Die Typisierung des dünnen Teils der Henleschen Schleife wurde in Anlehnung an SCHWARTZ/ VENKATACHALAM (1974) vorgenommen, die ihre Untersuchungen an der Rattenniere durchführten. Die dort vorgeschlagene morphologische Gliederung der verschiedenen Anteile der Henleschen Schleife trifft wohl als grundsätzliche Aussage auch für den Hund zu. Dementsprechend konnte für die Mehrzahl der Epithelformen eine klare Zuordnung zu Abschnitten der Henleschen Schleife erfolgen. Darüber hinaus reichen die Vorschläge von (SCHWARTZ/ VENKATACHALAM (1974) jedoch oftmals nicht aus, um sie uneingeschränkt für eine Zuordnung der strukturellen Besonderheiten des Hundes zu übernehmen. Zeigt sich doch gerade bei diesem Tier im Anschluß an den Proximalen Tubulus eine höhere Variabilität der epithelialen Wandauskleidung als bei der Ratte. So wird z. B. neben dem komplizierten Epitheltyp I eine einfacheren Epithelform gefunden, die dennoch aufgrund ihrer strukturellen Merkmale dem Typ I zugerechnet werden muß. Dieses heterogene Zellbild könnte auf unterschiedliche Funktionsstadien der Epithelzellen oder auf tatsächlich differierende Zellpopulationen zurückgeführt werden. Strukturelle Auswahlkriterien allein lassen es jedoch heute als verfrüht erscheinen, diese unterschiedlichen Zellformen

eindeutig dem ab- oder aufsteigenden Anteil des dünnen Teils der Henleschen Schleife zuzuordnen.

Im inneren Mark werden nur Epithelien des einfachen Typs II oder Übergänge von Typ I nach Typ II gefunden. Dies scheint für eine Übereinstimmung mit SCHWARTZ/ VENKATACHALAM (1974) in dem Punkt zu sprechen, wonach der dünne absteigende Schenkel der Henleschen Schleife im Umschlagsbereich sein Epithel vom Typ I zum Typ II ändert.

In den eigenen Untersuchungen konnte am Übergang vom Proximalen Tubulus zur Henleschen Schleife ein Epitheltyp beobachtet werden, der bei anderen Spezies (Ratte: SCHWARTZ/ VENKATACHALAM, 1974; Kaninchen: KAISSLING/ KRIZ, 1979) für die Wandauskleidung der kurzen Henleschen Schleifen als charakteristisch definiert ist. Doch sowohl BEEUWKES/ BONVENTRE (1975) als auch BULGER et al. (1979) vertreten die Meinung, daß beim Hund Henlesche Schleifen des kurzen Typs fehlen. Umso überraschender erscheinen die eigenen morphologischen Befunde, die den Gegenstand weiterer Untersuchungen darstellen werden.

Im Gegensatz hierzu konnten Äquivalente zu dem Epitheltyp, den sowohl SCHWARTZ/ VENKATACHALAM (1974) bei der Ratte als auch KAISSLING/ KRIZ (1979) beim Kaninchen dem aufsteigenden dünnen Teil der Henleschen Schleife zuordnen, an der Hundniere nicht gefunden werden.

In entsprechenden Bereichen der Markzone wurde dagegen eine Vielzahl von Epithelien und Zellen beobachtet, die mit hoher Wahrscheinlichkeit den allmählichen Übergang vom dünnen zum dicken aufsteigenden Teil der Henleschen Schleife repräsentieren. Dieser Abschnitt ist für den Hund typisch. Zwischen die Zellen des dicker werdenden Teils schieben sich Zellen, die sich morphologisch deutlich von den sie umgebenden abheben: Lange Projektionen, eine starke, kurze basale Faltung, ein runder Kern und zahlreiche Mitochondrien zeichnen diese Zellen aus. Eine exakte Zuordnung dieses Zelltyps in die Wand des aufsteigenden, dicker werdenden Teils der Henleschen Schleife ist nicht mit Sicherheit möglich. Die angrenzenden Nachbarzellen entsprechen jedoch denjenigen, die üblicherweise in diesem Tubulusabschnitt anzutreffen sind. In der vergleichenden Literatur wird diese Zelle nicht beschrieben, weder an dieser, noch an einer anderen Stelle des Nephrons.

Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, daß noch ein anderer Zelltyp vorhanden ist, der gleichzeitig mit dem "normalen" Epithel des aufsteigenden dicken Teils der Henleschen Schleife beobachtet werden kann. Dieser weist ähnliche Struktur auf, ohne mit ihm identisch zu sein. Eine topographische Zuordnung dieses Zelltyps ist erschwert. Aus dem Vorkommen dieses Epithels bis ins innere Mark ergeben sich nur zwei Möglichkeiten: Entweder ist es dem aufsteigenden dicken Teil der Henleschen Schleife oder dem Sammelrohr

zuzuordnen. Sowohl die große Anzahl von Mitochondrien als auch die starke basale Faltung als morphologischer Ausdruck einer besonderen funktionellen Leistung sprechen eher für eine Zuordnung zum geraden Teil des Distalen Tubulus.

BULGER et al. (1979) ordnen diese Zellen hingegen dem Distalen Konvolut zu. Diese Einordnung ist wegen der Lage und der Oberflächengestaltung wenig wahrscheinlich.

Das Distale Konvolut mit der ihm vorgelagerten Macula densa zeigt bei anderen Spezies (Kaninchen: KAISLING/ KRIZ, 1979; Ratte: OSVALDO-DECIMA, 1973) im wesentlichen die gleiche Erscheinungsform wie in der Hundeniere.

Große Schwierigkeiten, den jeweils vorliegenden Nephronabschnitt eindeutig zu definieren, treten in den Bereichen auf, die dem Distalen Konvolut folgen. KAISLING/ KRIZ (1979) beschrieben beim Kaninchen im Verbindungsstück zwei Zelltypen: eine "helle" Sammelrohrzelle und eine "dunkle" Schaltzelle, die in einer "grauen" und einer "schwarzen" Manifestation auftritt. CRAYEN/ THOENES (1975) identifizieren im Verbindungsstück der Rattenniere vier verschiedene Zelltypen: eine "Mittelstückzelle" entspricht der Zelle des Distalen Konvoluts, eine andere Zelle der "hellen" Sammelrohrzelle und eine der "dunklen" Schaltzelle, ein "Intermediärtyp" stellt eine Mittelstückzelle in schwächerer Ausprägung ihrer morphologischen Merkmale dar.

HAGEGE/ RICHET (1975) sehen die "dunklen" Zellen als veränderlichen Funktionszustand des Nierentubulus in der Rattenniere an. Wie in den Ergebnissen vom Nephron des Hundes dokumentiert, konnte ein abrupter Übergang zwischen Distalem Konvolut und Verbindungsstück gefunden werden. In einem Querschnitt des Lumens waren drei Zelltypen zu erkennen, in einem Längsschnitt vier unterschiedliche Zellen zu differenzieren. Mit den Darstellungen beim Kaninchen (KAISSLING/ KRIZ, 1979) stimmen drei Zelltypen überein: die "helle", die "graue" und die "schwarze" Zelle. Aus den Beobachtungen bei der Ratte (CRAYEN/ THOENES, 1975) kann die Beschreibung der "Intermediärzelle" übertragen werden. Eine Mittelstückzelle findet sich im Epithel des Verbindungsstücks jedoch nicht. Die Darstellung von KAISSLING/ KRIZ (1979) beim Kaninchen, wonach zwischen zwei Schaltzellen vom "grauen" und "schwarzen" Typ immer eine Sammelrohrzelle gelagert sein muß, kann für die Verhältnisse beim Hund ebenfalls nicht bestätigt werden.

Im Verlauf der Epitheldifferenzierung des Sammelrohrs zur Papille konnten im absteigenden Epithel bis ins innere Mark "dunkle" zwischengeschaltete Zellen beobachtet werden, die auch von BULGER et al. (1979), KAISSLING/ KRIZ (1979) beim Kaninchen und BULGER (1982) bei der Ratte beschrieben wurden.

Die vorliegenden Befunde unterstreichen die tierartspezifische, strukturelle Eigenständigkeit der harnbereitenden

Abschnitte im Nierengewebe beim Hund. Eine Zuordnung der verschiedenen epithelialen Zellpopulationen zu bekannten Tubulusbereichen ist vielfach möglich, einige neu beschriebene Zelltypen können jedoch noch nicht eindeutig definierten Wandabschnitten des Tubulus- bzw. Sammelrohrsystems zugeschrieben werden.

Die Klärung dieser Fragestellungen soll Aufgabe nachfolgender funktionell-morphologischer Untersuchungen werden.

6. Z U S A M M E N F A S S U N G

Als Probenmaterial diente Nierengewebe von 11 Hunden, die nach unterschiedlicher Fixation der Organe licht- und elektronenmikroskopisch untersucht wurden. Dabei wurde insbesondere eine Beschreibung der Epithelien im Verlauf des Nephrons und des Sammelrohrsystems vorgenommen. Ferner wurde versucht, die einzelnen Zelltypen anhand von vergleichbaren Angaben aus der Literatur bestimmten Abschnitten des Nierengewebes zuzuordnen.

Die Ergebnisse wiesen, neben einer Vielzahl von Übereinstimmungen zu Nierengewebe anderer Säugetierarten, auf morphologische Besonderheiten, die tierartspezifisch beim Hund auftreten.

So konnten bei dieser Tierart am aufsteigenden Teil der Henleschen Schleife zwei Zelltypen gefunden werden, die bislang unbekannt waren und an keiner Stelle in der vergleichenden Literatur nachgewiesen werden. Die eine Zellform tritt im Übergangsbereich vom dünnen zum dicken Teil der Henleschen Schleife auf und wird durch eine Vielzahl langer Projektionen auf ihrer luminalen Oberfläche, einer kräftigen, kurzen Faltung an seiner Basalfläche und zahlreichen Mitochondrien im Zytoplasma charakterisiert. Die andere weist eine typische Heterochromatinverteilung

im Kern auf und schließt spezifisch Lysosomen in die Zellgrundsubstanz ein.

Der Proximale Tubulus wird in vier Segmente (S 1 - S 4) untergliedert. S 1 und S 2 entsprechen den bei anderen Spezies beschriebenen. Das dritte Segment beim Hund schließt als Charakteristikum große Ansammlungen von Fetttröpfchen ein, der vierte Abschnitt stellt sich beim Hund als ein besonders uneinheitliches Segment dar.

Anhand vergleichbarer Angaben aus dem Schrifttum wurde der Versuch unternommen, die beim Hund im dünnen Teil der Henleschen Schleife beobachteten Epitheltypen einzuordnen. Es konnte kein Äquivalent zu dem aufsteigenden dünnen Teil der Henleschen Schleife anderer Spezies beobachtet werden.

Dieser Bereich der Hundeniere wird durch epitheliale Sonderbildungen charakterisiert, die auf den allmählichen Übergang vom dünnen zum dicken Teil der Henleschen Schleife zurückzuführen sind. In diesem Tubulusabschnitt konnte ein Zelltyp dokumentiert werden, der bis dahin nicht dort beschrieben wurde.

Dem folgenden dicken aufsteigenden Teil der Henleschen Schleife wurde ein Zelltyp zugeordnet, der zwar einige

den "normalen" Zellen ähnliche Strukturen trägt, mit ihnen aber nicht identisch ist. Das Distale Konvolut besteht aus nur einem Zelltyp mit einer ausgeprägten basalen Faltung und darin palisadenförmig angeordneten Mitochondrien.

Im Verbindungsstück werden vier verschiedene Zellarten beschrieben, eine "helle" Zelle, eine "graue" Zelle, eine "dunkle" Zelle und eine "Intermediärzelle". Die Sammelrohrwand bilden zwei Zellformen, eine häufigere "helle" Sammelrohrzelle und eine "dunkle" zwischengeschaltete Zelle.

Die tierartlich spezifischen Strukturmerkmale und das Problem einer Zuordnung zu definierten Abschnitten des Nephrons und des Sammelrohrsystems werden diskutiert.

7. SUMMARY

Morphology of the nephron and the collecting duct system in the dog kidney

The kidneys of 11 Beagle dogs were prepared for light and electron microscopy investigation with different fixatives. In this process, especially the epithelial tissue in the region of the nephron and the collecting duct system was examined and described. Furthermore the attempt was made to classify the encountered cell types by means of existing literature according to distinct areas of the kidney.

The results high-lighted morphological characteristics typical to the dog, as well as numerous correlations to the kidney-tissue of other mammals.

In the examined dogs two new cell types have been discovered in the ascending limb of Henle's loop which up to now have not been documented in literature. One type occurs in the transitional region from the thin limb to the thick limb of the Henle loop and is characterized by numerous long tentacles on its luminal surface, a short range of strong basal membran infoldings on top of a large number of mitochondria in the cytoplasm. The other type shows a typical distribution of heterochromatin in

the nucleus and encloses certain lysosomes in the cytoplasmic ground substance.

The proximal tubule of the dog kidney is split up in four segments (S 1 - S 4). S 1 und S 2 correspond directly to those found in other species. The most unique feature of the third segment is the presence of large lipid droplets, whereas the fourth section proves to be very incoherent.

Aided by comparative statements in specific literature an effort was made to classify the type of epithelial tissue discovered in the thin limbs of the Henle loop. No equivalent to the ascending thin limb of Henle's loop found in other species could be observed. This region in the dog kidney has specific epithelial formation representing the gradual transition from the thin to the thick part of Henle's loop. A new cell type could be documented in this tubule segment, which so far has not been described there. A cell type corresponding to adjoining thick ascending part of the Henle loop, showed similiar structures to the cell type usual to this area, but is not identically to it. The convoluted part of the distal tubule consists of only one type of cell with a distinct basal membrane folding which contains regular stacks of mitochondria.

In the connecting tubule four types of cells are described, a "light" , a "gray", a "dark" cell and a so called "Intermediärzelle". The wall of the collecting duct is constructed by two cells, a more frequently occurring "light" principal cell and a "dark" intercalated cell.

The ultrastructural features of the dog's specific renal morphology and the problems of its correlation to defined segments of the nephron and the collecting duct system is being discussed and evaluated.

8. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- ALLEN, F., and C.C. TISHER, 1976: Morphology of the ascending thick limb of Henle.
Kidney Int. 9, 8-22
- ANDERSON, B.G., and W.D. ANDERSON, 1976: Renal vasculature of trout demonstrated by scanning electron microscopy, compared with canine glomerular vessels.
Am. J. Anat. 145, 443-458
- ANDREWS, P.M., and K.R. PORTER, 1974: A scanning electron microscopy study of the nephron.
Am. J. Anat. 140, 81-116
- ANDREWS, P.M., and A.K. COFFEY, 1984: A technique to reduce artifacts to kidney proximal tubules.
Kidney Int. 25, 964-968
- BARGMANN, W., 1978: Niere und ableitende Harnwege
In: Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen: Bd. 7, Harn- und Geschlechtsapparat; Teil 5
Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- BEARD, M.E., and A.B. NOVIKOFF, 1969: Distribution of peroxisomes (microbodies) in the nephron of the rat.
J. Cell Biol. 42, 501-518

- BEEUWKES, R., and J.v. BONVENTRE, 1975: Tubular organization and vascular- tubular relations in the dog kidney.
Am. J. Phys. 229, 695-713
- BULGER, R.E., R.E. CRONIN, and D.C. DOBYAN, 1979: Survey of the morphology of the dog kidney.
Anat. Rec. 194, 41-65
- BULGER, R.E., and D.C.DOBYAN, 1982: Recent advances in renal morphology.
Ann. Rev. Physiol. 44, 147-179
- CRAYEN, M., und E.THOENES, 1975: Architektur und cytologische Charakterisierung des distalen Tubulus der Rattenniere.
Fortschr. Zool. 23, 279-288
- CHRISTENSEN, G.C., 1952: Circulation of blood through the canine kidney.
Am. J. Vet. Res. 13, 236-245
- CROWELL, F.A., J.R. DUNCAN, and D.R. FINCO, 1974: Light and electron microscopic change in biopsy, perfused, and in situ autolyzed kidney from normal dogs.
Am. J. Vet. Res. 35, 889-896

- DARNTON, S.J., 1969: A possible correlation between
ultrastructure and function in the thin
descending and ascending limb of the loop
of Henle of rabbit kidney.
Z. Zellforsch. 93, 516-524
- EISENBRANDT, D.L., and R.D. PHEMISTER, 1979: Postnatal
development of the canine kidney: quanti-
tative and qualitative morphology.
Am. J. Anat. 154, 179-193
- FINCO, D.R., and J.R. DUNCAN, 1972: Relationship of glo-
merular number and diameter to body size
of the dog.
Am. J. Vet. Res. 33, 2447-2450
- FOOTE, J.J., and A.L. GRAFFLIN, 1942: Cell contours in
the two segments of the proximal tubule in
the cat and dog nephron.
Am. J. Anat. 70, 1-20
- GROSSMANN, A., 1970: Vergleichende histochemische und
elektronenmikroskopische Untersuchungen am
inneren Nierenmark von Ratte, Hund und
Schwein.
Histochemie 23, 367-378

GRIFFITH, L.D., R.E. BULGER, and B.F. TRUMP, 1968:

Structure and staining of mucosubstances on
"intercalated cells" from the rat distal con-
volutated tubule and collecting duct.

Anat. Rec. 160, 643-662

HAGEGE, J., and G. RICHERT, 1975: Dark cells of the distal
convoluted tubules and collecting ducts.

I. Morphological data

Fortschr. Zool. 23, 289-298

HORSTER, M., B.J. KEMLER, and H. VALTIN, 1971: Intracor-
tical distribution of number and volume of
glomeruli during postnatal maturation in the
dog.

J. Clin. Invest. 50, 796-800

HUHN, D., J.W. STEINER, and H.Z. Movat, 1962: Die Fein-
struktur des Mesangiums im Nierenglomerulum
von Hund und Maus.

Z. Zellforsch. 56, 213-230

KAISLING, B., and W. KRIZ, 1979: Structural analysis of
the rabbit kidney.

Advances in Anatomy, Embryology and Cell
biology, Vol. 56.

Berlin, Heidelberg, New York: Springer

KAISSLING, B., St. PETER, and W. KRIZ, 1977: The transition of the ascending limb of Henle's loop into the distal convoluted tubule in the nephron of the rat kidney.

Cell Tissue Res. 182, 111-118

KAISSLING, B., and W. KRIZ, 1982: Variability of inter-cellular spaces between macula densa cells: A transmission electron microscopic study in rabbits and rats.

Kidney Int. 22, 9-17

KARNOVSKI, M.J., 1965: A formaldehyde- glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy.

J. Cell Biol. 27, 137A-138A

KNAUF, H., R. LÜBCKE, P. RÖTTGER, K. BAUMANN, and G. RICHT: Relation of dark cells to the transport of H^+ / HCO_3^- and K^+ ions: A microperfusion study in the rat submaxillary duct.

Kidney Int. 23, 350-357

MAUNSBACH, A.B., 1964: Comparison of renal tubule ultra-structure after perfusion with different fixatives.

J. Cell Biol. 23, 108A-109A

- MAUNSBACH, A.B., 1964a: Ultrastructure of different segments within the rat proximal tubule.
Anat. Rec. 148, 387
- MAUNSBACH, A.B., 1966: Observations on the segmentation of the proximal tubule in the rat kidney.
J. Ultrastruct. Res. 16, 239-258
- MAUNSBACH, A.B., 1966a: The influence of different fixatives and fixation methods on the ultrastructure of rat kidney proximal tubule cells.
I. Comparison of different perfusion fixation methods and of glutaraldehyde, formaldehyde and osmium tetroxide fixatives.
J. Ultrastruct. Res. 15, 242-282
- MAUNSBACH, A.B., 1966b: The influence of different fixatives and fixation methods on the ultrastructure of rat kidney proximal tubule cells.
II. Effects of varying osmolality, ionic strength, buffer system and fixative concentration of glutaraldehyde solutions.
J. Ultrastruct. Res. 15, 283-309
- MAUNSBACH, A.B., 1973: Ultrastructure of the proximal tubule.
In: Handbook of Physiology. Orloff, J. Berliner, R.W., Geiger, S. (eds.), Vol. VIII, 31-79
Washington: Am. Physiol. Soc. 1973

MIERZWA, J., 1977: The renal pelvis and selected measurements of the dog kidney.

Folia Morphologica 36, 217-223

O'Morchoe, C.C.C., and K.H. ALBERTINE, 1980: The renal cortical lymphatic system in dogs with unimpeded lymph and urine flow.

Anat. Rec. 198, 427-438

NOVAT, H.Z., M.D. and J.W. STEINER, 1961: Studies of nephrotoxic nephritis.

1. The fine structure of the glomerulus of the dog.

Am. J. of Clin. Path. 36, 289-305

NIELSEN, J.T., and E.I. CHRISTENSEN, 1983: Ultrastructure of isolated perfused proximal tubules from rabbit kidney.

Lab. Invest. 49, 400-411

OSVALDO- DECIMA, L., 1973: Ultrastructure of the lower nephron.

In: Handbook of Physiology. Orloff, L., Berliner, R.W., Geiger, S. (eds.), Vol. VIII, 81-102, Washington: Am. Physiol. Soc. 1973

OSVALDO, L., and H. LATTA, 1966: The thin limbs of the loop of Henle.

J. Ultrastruct. Res. 15, 144-168

- PFALLER, W., 1982: Structure function correlation on
rat kidney.
Advances in Anatomy, Embryology and Cell bio-
logy, Vol. 70.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- PUTZKE, H.P., und H. SCHILL, 1978: Elektronenmikrosko-
pische Untersuchungen an langzeitperfundierten
Hundenieren.
Zeitschrift f. Urologie u. Nephrologie 71,
699-703
- ROESINGER, A., A. SCHILLER, and R. TAUGNER, 1978: A freeze-
fracture study of tight junctions in the pars
convoluta and pars recta of the renal pro-
ximal tubule.
Cell Tissue Res. 186, 121-133
- RYTAND, D.A., 1938: The number and size of mammalian
glomeruli as related to kidney and to body
weight with method for the enumeration and
measurement.
Am. J. Anat. 62, 507-520
- SCHILLER, A., R. TAUGNER, und B. ROESINGER, 1978: Verglei-
chende Morphologie der Zonulae occludentes
am Nierentubulus.
Verh. Anat. Ges. 72, 229- 234

- SCHILLER, A., and R. TAUGNER, 1979: Are there spezialized junctions in the pars maculata of the distal tubule.
Cell Tissue Res. 200, 337-344
- SCHILLER, A., R. TAUGNER, and W. KRIZ, 1980: The thin limbs of Henle's loop in the rabbit. A freeze-fracture study.
Cell Tissue Res. 207, 249-265
- SCHILLER, A. W.G. FORSSMANN, and R. TAUGNER, 1980a: The tight junctions of the renal tubules in the cortex and outer medulla.
Cell Tissue Res. 212, 395-413
- SCHWARTZ, M.M., and M.A. VENKATACHALAM, 1974: Structural differences in thin limbs of Henle: Physiological implications.
Kidney Int. 6, 193-208
- SELLWOOD, R.V., and E.B. VERNEY, 1955: Enumeration of glomeruli in the kidney of the dog.
J. Anat. 89, 63-68
- SPANGLER, W.L., 1979: Ultrastructure of the juxtaglomerular apparatus in the dog in a sodium- balanced state.
Am. J. Vet, Res. 40, 802-808

- STOCK, C., et J.F. GRENIER, 1973: Une formation nucleaire paracritalline dans les cellules tubulaires proximales renales de chien.
Z. f. Zellforsch. 136, 349-354
- WAUGH, D., R.S.A. PRENTICE, and AND D. YADAV, 1967: The structure of the proximal tubule: a morphological study of basement membran cristae and their relationship in the renal tubule of the rat.
Am. J. Anat. 121, 775-786
- WELLING, L.W., A.P. EVAN, D.J. WELLING, and V.H. GATTONE, 1983: Morphometric comparison of rabbit cortical connecting tubules and collecting ducts.
Kidney Int. 23, 358-367
- ZIMMERMANN, K.W., 1911: Zur Morphologie der Epithelzellen der Säugetierniere.
Arch. Mikroskop. Anat. 78, 199-231

Herrn Prof. Dr. F. Sinowatz danke ich für die Überlassung des Arbeitsplatzes.

Für die Überlassung des Themas, die wissenschaftliche Beratung und die über das zu erwartende Maß hinausgehende freundliche Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit bedanke ich mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dr. H.-G. Liebich.

Bei den umfangreichen Arbeiten unterstützten mich Fräulein Winkler, Frau Roming und Frau Münster in zuverlässiger und dankenswerter Weise.

Allen anderen Mitarbeitern des Instituts, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle ebenfalls danken.

LEBENS LAUF

Geburtstag: 20. Januar 1957

Geburtsort: Krefeld

Staatsangehörigkeit: Deutsch

Eltern: Karl Fischer
Ruth Knuppertz, geb. Nowak, verw. Fischer

Abitur: 22. Juni 1976
Fichte- Gymnasium Krefeld

Wehrdienst: Oktober 1976 bis September 1978

Arbeitszeit: Oktober 1978 bis September 1979
als Angestellter am Flughafen Düsseldorf

Studium: WS 1979/80 bis WS 1984/85 Studium
der Tiermedizin an der Tierärztlichen
Fakultät der Ludwig-Maximilians-
Universität München

Staatsexamen: 22. November 1984

Approbation: 30. Januar 1985

